

Kuollutmeri

Ympäristökatastrofi vai selviytymistarina?

Helsingin yliopisto
Bio- ja ympäristötieteellinen
tiedekunta
Ympäristötieteiden koulutusohjelma
Pro gradu -tutkielma
Ympäristömuutos ja politiikka
Maaliskuu 2020
Marjut Davidkin

Ohjaaja: Jan Weckström



Tiedekunta - Fakultet - Faculty Bio- ja ympäristötieteiden tiedekunta		
Tekijä - Författare - Author Marjut Davidkin		
Työn nimi - Arbetets titel Kuollutmeri – Ympäristökatastrofi vai selviytymistarina?		
Title The Dead Sea – Environmental disaster or a story of survival?		
Oppiaine - Läroämne - Subject Ympäristömuutos ja -politiikka		
Työn laji/ Ohjaaja - Arbetets art/Handledare - Level/Instructor Pro gradu -tutkielma / Jan Weckström	Aika - Datum - Month and year Maaliskuu 2020	Sivumäärä - Sidoantal - Number of pages 63 s.
<p>Kuollutmeri sijaitsee Lähi-idässä, keskellä Syyrian-Afrikan vajoamaa. Kuolleenmeren vedenpinta on noin 433 metriä merenpinnan alapuolella (mmpa) ja sen rantaviiva on maailman matalin paikka. Kuolleenmeren vedenpinta on laskenut viime vuosikymmenien aikana huolestuttavaan tahtiin, noin metrin vuodessa. Ensisijaisena syynä tähän on sen valuma-alueen kestämaton vedenkäyttö, jonka seurauksena Kuolleenmeren ainoan laskujoen, Jordanjoen, virtaama on vähentynyt merkittävästi. Vedenpinnan laskua lisää mineraaliteollisuuden toiminta Kuolleenmeren eteläosassa. Lisäksi Kuollutmeri sijaitsee alueella, jossa sadanta on hyvin vähäistä ja lämpötila korkea, mistä johtuu, että Kuolleenmeren haihdunta on suurta. Tästä osaltaan johtuu, että sen veden suolapitoisuus on hyvin korkea, noin 30%. Vedenpinnan laskusta on seurannut useita ympäristövaikutuksia, kuten valtaviin mutakenttien ja vajoamien muodostuminen, jotka vaikuttavat infrastruktuuriin ja elinkeinon harjoittamiseen. Israel, Jordania ja palestiinalaishallinto ovat suunnitelleet rakentavansa Kuolleenmeren vedenpinnan laskun pysäyttämiseksi kanavan Punaiseltamereltä Kuolleelemerelle (RSDSC). Lisäksi hanke tuottaisi desalinoitua eli merestä suodatettua makeaa vettä sekä toimisi "rauhan symbolina". Ympäristöjärjestöt kuitenkin vastustavat kiivaasti tätä Maailmanpankin koordinoimaa hanketta.</p> <p>Tutkielmani tavoite oli tarkastella 1) miten RSDSC-hanke tulisi vastaamaan Kuolleenmeren vedenpinnan laskuun, 2) mitkä olisivat sen ympäristövaikutukset, 3) minkä vuoksi ympäristöjärjestöt vastustavat hanketta ja 4) mikä olisi niiden ratkaisu tilanteeseen. Tutkimukseni on laadullinen deskriptiivinen tapaustutkimus. Tutkimukseni aineistona olivat tieteelliset artikkelit, Maailmanpankin koordinoimat RSDSC-hankkeeseen liittyvät selvitykset ja tutkimukset sekä ympäristöjärjestöjen vastineet näihin raportteihin. Analysoin aineistot sisällönanalyysin keinoin.</p> <p>Tutkimustulokset osoittavat, että RSDSC-hankkeeseen liittyy merkittävä negatiivisten ympäristövaikutusten riski, vaikka sen seurauksena vedenpinnan lasku ja vajoamien muodostuminen pysähtyisikin. Erityisesti limnologiset vaikutukset, kuten levä- ja bakteerikukinnot, kip-sin muodostuminen, veden vaalentuminen sekä tulviminen ja pohjaveden saastuminen ovat huolenaiheena. Ympäristöjärjestöjen ratkaisu ongelmaan olisi Jordanjoen virtaaman ennallistaminen ja tätä kautta Kuolleenmeren vedenpinnan stabiloiminen. Myös tästä vaihtoehdosta seuraisi mahdollisesti ympäristövaikutuksia, mutta niiden riskit olisivat todennäköisesti huomattavasti pienempiä kuin RSDSC-hankkeessa.</p>		
Avainsanat - Nyckelord Kuollutmeri, RSDSC-hanke, Jordanjoki, ympäristövaikutukset, vedenpinnan lasku		
Keywords The Dead Sea, RSDSC-project, Jordan River, environmental impact, water level decline		
Säilytyspaikka - Förvaringsställe - Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet)		
Muita tietoja - Övriga uppgifter - Additional information		



Tiedekunta - Fakultet - Faculty The Faculty of Biological and Environmental Sciences		
Tekijä - Författare - Author Marjut Davidkin		
Työn nimi - Arbetets titel Kuollutmeri – Ympäristökatastrofi vai selviytymistarina?		
Title The Dead Sea – Environmental disaster or a story of survival?		
Oppiaine - Läroämne - Subject Environmental Change and Politics		
Työn laji/ Ohjaaja - Arbetets art/Handledare - Level/Instructor Master's Thesis / Jan Weckström	Aika - Datum - Month and year March 2020	Sivumäärä - Sidoantal - Number of pages 63 pp.
<p>The Dead Sea is located in the Middle East at the centre of the Syrian-African rift. At about 433 meters below sea level (mbsl), its coastal line is the lowest point on the earth. The Dead Sea's surface level has declined in the past centuries at an alarming rate, now around 1 meter per year, due mostly to the unsustainable water use of its drainage basin. In the past, the Jordan River supplied the majority of the inflow to the Dead Sea but nowadays the river's inflow has been reduced substantially. In addition, the mineral industry is pumping water from the southern part of the the Dead Sea, which increases the water level decline. Also the climate in the area is very dry and hot, which makes the evaporation rate high and causes the salt to precipitate. Dead Sea's salt concentration is about 30%. The recent drop in the water level has exposed salty mud flats and started a sinkhole formation process in the coastline that has negatively affected the area's infrastructure and economy. Israel, Jordan and the Palestinian Authority have planned to construct a canal from the Red Sea to the Dead Sea (RSDSC), coordinated by the World Bank. The project would also produce desalinated water locally and would act as "a symbol of peace" between the parties. Nevertheless, environmental groups have adamantly opposed the RSDSC project. The objective of my thesis was to investigate 1) how the RSDSC project would counter the previous decline of the Dead Sea; 2) the environmental impacts of such a project; 3) why environmental groups are opposed to it; and 4) the environmentalists' solution to the problem. This study is a qualitative descriptive case study. The material of the study consists of scientific journals, World Bank study reports and the responses to those reports from the environmentalists. The material was analyzed according to the method of content analysis. The study indicated that there are major risks in the RSDSC project in the form of negative environmental impacts to the Dead Sea's limnology even though it would stabilize the water level and probably also stop the formation of sinkholes. It is estimated that there might be severe algae and microbiological blooms and gypsum precipitation with "whitening effect" when a lot of sea water will be mixed with Dead Sea brine. Due to water level rise, flooding might occur, which could contaminate the ground water. The environmentalists' proposed solution is the rehabilitation of the Jordan River by means of water recycling and production of more desalinated water to the Dead Sea's drainage basin, which would reduce water intake from natural sources. This plan, too, probably has its negative environmental impacts but the risks seem to be minor when compared to the RSDSC project's estimated negative impacts.</p>		
Avainsanat - Nyckelord Kuollutmeri, RSDSC-hanke, Jordanjoki, ympäristövaikutukset, vedenpinnan lasku		
Keywords The Dead Sea, RSDSC project, Jordan River, environmental impact, water level decline		
Säilytyspaikka - Förvaringsställe - Where deposited Helsinki University Library – Helda / E-thesis (theses)		
Muita tietoja - Övriga uppgifter - Additional information		

Sisällys

1	JOHDANTO	1
1.1	Kuoleeko Kuollutmeri?	1
1.2	Tutkielman tavoite ja tutkimuskysymykset	4
2	KUOLLUTMERI	6
2.1	Kuolleenmeren vajoama	7
2.2	Kuolleenmeren limnologiset erityispiirteet.....	8
2.3	Vedenpinnan lasku	10
2.4	Seuraukset Kuolleenmeren pinnanlaskusta.....	13
3	KUOLLEENMEREN PELASTUSSUUNNITELMAT	16
3.1	Araljärvi varoittavana esimerkkinä	16
3.2	Kuolleenmeren pelastushankkeet.....	17
4	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	20
4.1	Tapaustutkimus tutkimusstrategiana	20
4.1.1	Tapaustutkimuksen yleistämisestä.....	21
4.1.2	Rajaamisesta.....	22
4.2	Sisällönanalyysi	23
4.3	Aineiston kerääminen ja analyysi.....	24
5	RSDSC – RATKAISU VEDENPINNAN LASKUUN?	29
5.1	Maailmanpankin suosittama malli putkistolle	29
5.2	Maailmanpankin suosittama veden juoksutusmalli	31
6	RSDSC-HANKKEEN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	33
6.1	Vaikutukset vajoamiin ja pohjaveteen	33
6.2	Vaikutukset Kuolleenmeren limnologiaan	34
6.2.1	Muutokset kerrostuneisuudessa.....	35
6.2.2	Veden vaalentuminen.....	36
6.2.3	Levä- ja bakteerikukinnot	37
6.3	Muita ympäristövaikutuksia ja pohdintaa	38
7	YMPÄRISTÖJÄRJESTÖJEN ÄÄNI	41
7.1	Huoli RSDSC-hankkeen ympäristövaikutuksista	41
7.2	Kritiikki Maailmanpankin toimintamallia kohtaan.....	43
7.3	Ympäristöjärjestöjen ratkaisu	46
8	TUTKIMUKSEN LUOTETTAVUUS	50

9	POHDINTAA	53
	LÄHTEET	58

1 Johdanto

Kuollutmeri sijaitsee Lähi-idässä Israelin, Länsirannan ja Jordanian ympäröimänä maailman isoimmassa ja syvimmissä vajoama-altaassa Arabian ja Afrikan mannerlaattojen välissä (kuva1). Nimestään huolimatta Kuollutmeri on järvi - hyvin suolainen sellainen - ja sen rantaviiva on maailman matalin maanpäällinen paikka. Kesäkuussa 2019 Kuolleenmeren vedenpinnan taso oli lukemassa 433,57 metriä merenpinnan alapuolella (mmpa) ja sen vedenpinta laskee hälyttävää vauhtia, noin metrin vuodessa (Israel Water Authority, 2020). 1960-luvulla Kuolleenmeren vedenpinnan taso oli noin 394 mmpa, jolloin sen pinta-ala oli noin 950 m². Viimeisten 60 vuoden aikana Kuolleenmeren vedenpinta on laskenut lähes 40 metriä ja sen pinta-ala pienentynyt kolmasosan. (Clossun, Hansen, Halgand, Milisavljevic, Hallot & Acheroy 2011, 108)

1.1 Kuoleeko Kuollutmeri?

Viime vuosikymmenten aikaisen vedenpinnan laskukehityksen syynä on Kuolleenmeren valuma-alueen kestämaton vedenkäyttö. Kuolleenmeren valuma-alue käsittää alueita Syyriasta, Jordaniasta, Libanonista, Israelista ja Länsirannasta. Merkittävin syy laskulle on sen ainoan laskujoen, Jordanjoen, virtaaman vähentyminen. (Ghazleh, Hartmann, Jansen & Kempe 2009, 637) Tämän lisäksi Kuolleenmeren eteläosassa mineraaliteollisuuden yhtiöt *Israel Dead Sea Works* ja *The Arab Potash Company* pumpaavat suolavettä haihdutusaltaisiin, joissa uutetaan mm. lannoitteisiin käytettävää potaskaa (KCl), bromia (Br) ja magnesiumia (Mg), mikä aiheuttaa vuosittaisesta yhden metrin laskusta jopa noin 30-40 cm (Oren 2010, 229).

Kuolleenmeren vedenpinnan laskusta on seurannut monia ympäristövaikutuksia ja yksi vakavammista seurauksista on rannikolle muodostuneet tuhoisat maanvajoamat (*sinkholes*). Maavajoamien ilmaantuminen tuhoaa alueen infrastruktuuria, palmuviljelmiä ja haittaa elinkeinon harjoittamista, kuten turismia ja maataloutta. Lisäksi vedenpinnan laskusta on seurannut pohjavesivarojen ja lähteiden ehtymistä, mikä puolestaan on haitannut joidenkin rannikkoalueiden vedensaintia. (Ghazleh, Abed & Kempe 2011, 91; Stztankeler, Meir & Schwartz 2012, 125) Vajoamia muodostuu, kun vähemmän suolainen pohjavesi pääsee veden pinnan laskiessa huuhtomaan maaperän suolakerroksia. Vuonna 2017 pelkästään Israelin puolella havaittiin noin 5500 vajoamaa ja vuosittain ilmestyy 400 uutta vajoamaa lisää. (Yizhaq, Ish-Salomon, Raz & Ashkenazy

2017, 4944) Nykyisen kehityksen jatkuessa vaarana on koko Kuolleenmeren ainutlaatuisen ekosysteemin menetys ja alueen elinolosuhteiden romahdus.

Tutkielman idea syntyi, kun muutamia vuosia sitten matkustelin Kuolleenmeren alueella. Ajoimme Jerusalemissa Länsirannan läpi itään päin ja Kuolleenmeren pohjoispuolella sijaitsevan Jerikon kohdalla käännymme etelään, jonka jälkeen seurasimme Kuolleenmeren rantaa myötäilevää tietä kohti Ein Gedin luonnonsuojelualueita. Hätkähdyttävä näky oli rannalle kiteytyneet suolapatsaat, mutta niiden lisäksi paljas mutainen maa, jonka vetäytynyt rantaviiva oli jättänyt taakseen. Matkan jälkeen aloin seurata uutisointia Kuolleenmeren tilanteesta ja sen pelastamiseksi suunnitellusta Red Sea - Dead Sea Canal (RSDSC) -hankkeesta englanninkielisestä verkkolehdistä *Jerusalem Post*, *Times of Israel* ja *Jordan Times* sekä sattuman varaisesti muista kansanvälisistä verkkolehdistä. Ilmeni, että erilaiset Kuolleenmeren pelastushankkeet ja kanavasuunnitelmat, joissa Kuolleelemerelle juoksutettaisiin lisää vettä joko Välimereltä tai Punaiselta tamereltä, ovat olleet vireillä vuosikausia (kts. myös Asmar & Ergenzinger 2002, 783; Oren, Plotnikov, Sokolov & Aladin 2010, 223).

Viime vuosina sopimusvaiheeseen edennyt RSDSC-hanke on Maailmanpankin suosittelema vaihtoehtomalli, jossa Israel, Jordania ja palestiinalaishallinto tulisivat yhteisvoimin rakentamaan kanavan Akabanlahdelta Kuolleelemerelle (kuva 1). Maiden hallitukset ovat perustelleet vedenjuoksutuskanavan rakentamista sillä, että se tulisi pelastamaan Kuolleenmeren ja loisi alueelle ”rauhan symbolin”. Hankesuunnitelmaan kuuluu myös desalinaatiolaitos, joka tulisi tuottamaan puhdasta juomavettä lähialueelle sekä Jordanian pääkaupungin Ammanin alueelle poistamalla suolan merivedestä. Se toimisi osittain vesivoimalla hyödyntäen Punaisenmeren ja Kuolleenmeren maantieteellistä korkeuseroa.

Hienolta kuulostavista tavoitteistaan huolimatta projekti nostattaa vastustusta ruohonjuuritasolla, ja erityisen äänekkääsi *EcoPeace Middle East* (entinen *Friends of the Middle East, FoEME*) on kantanut huolta RSDSC-hankkeen mahdollisista ympäristövaikutuksista sekä kritisoinut Maailmanpankin koordinoiman vuonna 2013 julkistaman selvitystutkimuksen toimintatapoja. Heidän mukaansa suunniteltu hanke tulisi pikemminkin tuhoamaan koko Kuolleenmeren alueen ja johtamaan laajaan ympäristökatastrofiin. He peräänkuuluttivat Jordanjoen virtaaman ennallistamista ratkaisuksi katkaista Kuolleenmeren vedenpinnan laskukehitys. Toisaalta RSDSC-hankkeen tavoitteet kuulostivat huppeilta: pelastaa Kuollutmeri, luoda puhdasta juomavettä sekä rakentaa rauhaa

kaikkien kolmen osapuolen välille yhteisen hyvän nimissä. Kumpikin osapuoli toivoi siis Kuolleenmeren pelastamista, mutta erilaisin keinoin.



Kuva 1. Kuollutmeri ja punaisella merkitty RSDSC-hanke.
(Satelliittikuva Google Maps, kuvaan merkitty tutkimukseen liittyviä kohteita.)

1.2 Tutkielman tavoite ja tutkimuskysymykset

Ympäristöongelmien tai -konfliktien ratkaiseminen nähdään yleisesti vaikeana, koska niihin liittyy suuri joukko vastakkaisia intressejä. Perinteisesti ympäristökonfliktien syyinä on nähty taloudellisten intressien ja ympäristönsuojelupyrkimysten törmäminen (Peuhkuri, 2005, 301), mutta aina tilanne ei ole näin yksiselitteinen. Tutkimukseni kohde poikkeaa tavanomaisesta ympäristökiistasta siinä, että ainakin nimellisesti kummankin osapuolen tavoite on nimenomaan ympäristökatastrofin estäminen eli Kuolleenmeren alueen pelastaminen. Tilanteesta muodostuu kuitenkin huolestuttava, jos toisen puolen ”pelastussuunnitelma” osoittautuukin pikemminkin tuhoavaksi kuin pelastavaksi operaatioksi ja toisen osapuolen suunnitelmat puolestaan riittämättömiksi.

Lähtökohtainen motivaatio tutkimukselleni on nähdä asian ympärille kehkeytyneen poliittisesti värittyneen esiripun taakse ja tarkastella Kuolleenmeren tilaa ja sen tulevaisuutta käyttäen luonnontieteellisiä faktoja. Koska oma taustani on luonnontieteissä, tutkimukseni ei siis ruodi sitä, millaisista poliittisista motiiveista tai kulttuurisista syistä kanavahankkeen voimakas vastustus tai toisaalta kannatus kumpuaa. Tutkimuksen tarkoitus on selvittää, mistä projektissa kaiken kaikkiaan on kyse ja mihin tämä kaikki johtaa – suurempaan katastrofiin vai selviytymiseen?

Tutkimuskysymykseni ovat:

1. Kuinka suunniteltu RSDSC-hanke tulisi vastaamaan Kuolleenmeren hälyttävään tilaan?
2. Miten kyseinen hanke tulisi vaikuttamaan jo ilmestyneisiin vedenpinnan laskusta seuranneisiin ympäristövaikutuksiin, kuten vajoamien muodostumiseen?
3. Mitkä ovat sen mahdolliset riskit Kuolleenmeren ympäristölle?
4. Minkä vuoksi ympäristöjärjestöt vastustavat hanketta ja mikä on heidän ratkaisunsa Kuolleenmeren tilan kohentamiseksi?

Tutkimus on kuvaileva tapaustutkimus, jossa analysoin aineistoa sisällönanalyysin keinoin. Aineistoni koostuu Maailmanpankin koordinoimista RSDSC-hanketta koskevista selvityksistä ja ympäristöjärjestöjen näihin laatimista vastineista ja tutkimuksista sekä tieteellisistä artikkeleista. Tutkimuksen tieteellinen lisäarvo on, että se nivoo yhteen eri puolten näkemyksiä ja tarkastelee niitä luonnontieteellisen tiedon valossa sekä punnit-

see niitä mahdollisia riskejä ja toisaalta mahdollisuuksia, joita kanavahankkeeseen saattaa liittyä. Aihe on akuutti, koska Kuolleenmeren vedenpinta laskee nopealla vauhdilla, mutta toimet sen pysäyttämiseksi ovat epäselvät.

Seuraavassa luvussa 2 *Kuollutmeri* kuvaan tapauksen taustat, eli Kuolleenmeren vedenpinnan laskun takana olevat syyt ja toisaalta seuraukset, joita rantaviivan vetäytymisestä on seurannut alueelle. Luvussa 3 *Kuolleenmeren pelastussuunnitelma* pohjustan pelastushankkeiden historiaa, jonka avulla tuon aiheen nykyhetkeen. Luvussa 4 *Tutkimuksen toteutus* esittelen tutkimuksen menetelmän ja aineiston. Luvuissa 5 *RSDSC – ratkaisu vedenpinnan laskuun?* ja 6 *RSDSC-hankkeen ympäristövaikutukset* sekä 7 *Ympäristöjärjestöjen ääni* pyrin vastaamaan tutkimuskysymyksiin. Luvussa 8 *Tutkimuksen luotettavuudesta* tarkastelen tutkimuksen luotettavuutta ja lopuksi luvussa 9 *Pohdintaa* nivon yhteen tutkimustulokset ja pohdin tulevaisuudennäkymiä.

2 Kuollutmeri



Kuva 2. Kuollutmeri.
(Satelliittikuva Google Maps)

Kuolluttamerta (kuva 2) on kutsuttu osuvas-
ti "luonnon laboratorioksi", koska siellä
pääsee tekemään monen eri tieteenalan
tutkimusta *in situ* (Ben-Avraham 2001,
437). Limnologista tutkimusta tehdään hy-
persuolaisen veden mineraalikoostumuk-
sesta (mm. Katz & Starinsky 2009) ja muis-
ta järven ominaisuuksista, kuten kerrostu-
neisuudesta ja veden kierrosta (mm. Ar-
non, Selker & Lensky 2016, Sirota, Enzel &
Lensky 2017). Mikrobiologit puolestaan tut-
kivat niitä harvoja bakteereja, jotka pystyvät
selviytymään Kuolleenmeren hypersuolai-
sessa vedessä, erityisesti niiden mikroevo-
luutiota ja selviytymiskeinoja miltei elämälle
mahdottomissa olosuhteissa (mm. Oren
2010, Nazareth, Gonsalves & Nayak 2012,
Rhodes, Oren & House 2012). Seismisesti
aktiivinen alue luo puolestaan tutkimusym-
päristön mannerlaattatektoniikan tutkijoille
(mm. Hamiel, Masson, Piatibratova & Miz-
rahi 2018, El-Isa 2017). Lisäksi sedimentti-
kairauksilla voi saada tietoa alueen muinai-
sesta ilmastosta ja mannerlaattojen liikkeis-
tä (mm. Lefevre, Klinger, Al-Qaryouti, Le
Béon & Moumani 2018). Aivan hiljattain jul-

kaistu tutkimus valottaa suolan kiteytymisen mekanismia hypersuolaisessa lämpöker-
rostuneessa vesistössä ("*Salt fingering process*"), jonka aiemmin ajateltiin olevan risti-
riidassa fysiikan lakien kanssa (Ouillon, Lensky, Lyakhovsky, Arnon & Meiburg 2019).
Kyseisen tutkimuksen mukaan Kuollutmeri on ainut paikka maailmassa, jossa tämä il-
miö tapahtuu, ja sen ymmärtäminen auttaa muun muassa selvittämään maapallon
muiden massiivisten suolakerrostumien muodostumista.

2.1 Kuolleenmeren vajoama

Laattatektonisesti Kuollutmeri sijaitsee keskellä Jordanjoen laakson vajoamaa (*Jordan Rift Valley*) (toisilta nimiltään Kuolleenmeren vajoamaa, *Dead Sea Rift*, tai Syyrian-Afrikan vajoamaa, *Syrian-African Rift*), joka on noin 1000 km pitkä muodostuma ulottuen Turkin Taurusvuorilta Siinain niemimaan eteläkärkeen saakka (kuva 3). Tämä vajoama on Arabian mannerlaatan ja Siinain laatan, joka on osa Afrikan mannerlaattaa, sivutyöntövyöhykkeellä (*left-lateral transform boundary*). Kuolleenmeren allas (*Dead Sea basin*) alkaa läheltä Jerikon kaupunkia ja jatkuu etelään Arava-laaksoon saakka ($31^{\circ}50'N$ - $30^{\circ}20'N$). (Ben-Avraham 2001, 437) Kuolleenmeren allas käsittää oikeastaan kaksi allasta: pohjoisen syvän (syvimmillään yli 300 m), jossa varsinainen Kuollutmeri sijaitsee ja eteläisemmän matalamman muutamien metrien syvyyden keinotekoisesta vesialtaan, joka olisi luontaisesti kuiva, mutta on tällä hetkellä mineraaliteollisuuden käytössä. Altaita erottaa Lisan niemimaa. (Asmar & Engeninger 2002, 783)



Kuva 3. Kuolleenmeren sijainti mannerlaattojen välissä Ben-Avrahamin, 2011, mukaan. (Satelliitikuva Google Maps, muokattu.)

Kuolleenmeren allas on muodostunut noin 15 miljoonaa vuotta sitten tai jopa hieman aikaisemmin ja saavuttanut noin puolet tämän hetkisestä koostaan mioseenikauden loppuun mennessä. Kuolleenmeren allas on yksi maanpinnan syvimmistä vajoamista, joka on täytynyt aikojen saatossa eri maakerroksilla. Suolakerrokset ovat peräisin ajalta, jolloin Välimereltä syntyi vesiyhteys Jordanin jokilaaksoon ja muodostui Sedomin laguuni. Alueen pinnanmuodot ovat muokkautuneet vuosituhansien aikana johtuen ilmaston vaihtelusta ja geologisista muutoksista, ja Kuolleenmeren allasta onkin huuhto-

nut monien eri järvien vesimassat eri aikakausina (Torfstein, Goldstein, Kagan & Stein 2013, 211; Miebach, Stolzenberge, Wacker, Hense & Litt 2019, 100). Kuolluttamerta edeltävä järvi, Lisanjärvi, ulottui Genesaretinjärveltä (toisilta nimiltään *Lake Kinneret*, *Lake Tiberias*, *Sea of Galilee*) eteläiseen Aravalaaksoon saakka. Noin 15 000 vuotta sitten se kuivui jättäen muistoksi itsestään pienen osan, meidän tuntemamme Kuolleenmeren (Ben-Avraham 2001, 439-440).

Sijainnistaan mannerlaattojen välissä johtuen Kuolleenmeren allas on seismisesti aktiivinen, mikä on tuonut lisähaasteita alueen infrastruktuurille ja suunnitteilla olleille kanavahankkeille. Viimeisin suuri maanjäristys tapahtui Jerikossa 1927, josta syntyi laajaa tuhoa. Järistys oli voimakkuudeltaan 6,2 Richterin magnitudia, ja siinä kuoli 500 henkeä ja loukkaantui 700 henkilöä. Kuolleenmeren vajoaman liikehdintää seuraa Israelin Geofysikaalinen Instituutti (*The Israel Geophysical Institute*). Tutkijat ovat varoittaneet, että alueella saattaa syntyä lähitulevaisuudessa voimakaskin maanjäristys. Vuosituhannen alussa tehtyjen mittausten mukaan mannerlaattojen välinen muutosliike on noin 4 mm vuodessa, kun itäisempi Arabian mannerlaatta liikkuu pohjoiseen suhteessa Siinain niemimaan laattaan. Tämä liike on alkanut noin 20 miljoonaa vuotta sitten ja muutosliikettä on tullut noin 105 km (Garfunkel & Ben-Avraham 1996, 169; Ben-Avraham 2001, 438).

2.2 Kuolleenmeren limnologiset erityispiirteet

Kuollutmeri on hypersuolainen päätejärvi, jonne Jordanjoki laskee. Ensimmäiset limnologiset tutkimukset ja syvyysmittaukset suolajärvestä tehtiin vuonna 1848 Yhdysvaltojen meriväen luutnantti William Lynchin toimesta. Ennen häntä oli ollut myös kaksi onnettomasti päättynyttä yritystä; irlantilainen Christopher Costigan vuonna 1835 ja Thomas Molyneux Iso-Britannian meriväestä vuonna 1847, jotka molemmat menehtyivät traagisesti juomaveden loppumisen, kuumuuden ja ylläsurin vuoksi. Luutnantti Lynch yhdessä 11 merimiehen kanssa teki 162 syvyystutkimusta 14 eri linjassa risteillen eri suunnissa Kuolluttamerta 17 päivän ajan. Lynchin jälkeen varakas herttua de Luynes tutki koko järven massiivisella budjetilla kolmen muun tiedemiehen kanssa. He ottivat myös vesinäytteitä ja olivat ensimmäiset, jotka havaitsivat suolajärven tiheyskerrostuneisuuden. Heidän tutkimusraporttinsa julkaistiin kolmessa osassa 1870-luvulla. (Oren 2010, 225) Sitten Kuolleenmeren limnologisia ominaispiirteitä ja niiden muuttumista vedenpinnan laskiessa on tutkittu paljon. Kuolleenmeren systemaattinen hydrologinen seuranta aloitettiin vuonna 1929 (Ben-Avraham 2001, 440).

Kuolleenmeren vesi on hyvin suolaista, homogeenisen veden suolapitoisuus on noin 30%, (TDS >340 g/L) ja tiheää (>1,236 kg/l). Korkea suolapitoisuus johtuu alueen luonnonhistoriasta sekä kuivasta ja kuumasta ilmastosta, jolloin veden haihtuminen (evaporaatio) saa aikaan suolapitoisuuden kasvun. (Gavrieli & Bein 2007, 110) Vuoden 2018 tutkimuksen mukaan tämän hetkinen energia- ja massatasapainoon perustuva evaporaatioaste on $1,05\text{--}1,30 \text{ my}^{-1}$ (Weber, Yechieli, Stein, Yokochi, Gavrieli, Zappala, Mueller & Lazar 2018, 243). Suolot ovat pääasiallisesti magnesiumin (Mg^{2+}), natriumin (Na^+) ja kalsiumin (Ca^{2+}) klorideja, sekä suuria pitoisuuksia myös kaliumia (K^+) ja bromia (Br^-), joita käytetään kaupallisesti. Haihtumisen myötä Na^+ kiteytyy haliitiksi eli vuori-suolaksi (NaCl), jolloin liukoisempi Mg^{2+} konsentroituu edelleen ja on dominoiva kationi. (Ionescu, Siebert, Polerecky, Munwes, Lott & Häusler 2012) Haliittia kiteytyy noin 10 cm vuodessa järven pohjaan. Myös kipsiä ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) saostuu, mutta hyvin hitaasti. (Oren ym. 2010, 229-230)

Noin 300 vuoden ajan ennen vuoden 1979 täydellistä sekoittumista Kuollutmeri oli *meromiktinen*. Se tarkoittaa, että vesi oli tiheyskerrostunutta ja alusvesikerros oli pysyvästi sekoittumaton. Muutama vuosi ennen täyskiertoa vuonna 1976 Kuolleenmeren vedenpinta laski -400 metrin tasoon, jonka seurauksena eteläisempi allas kuivui. Samanlaisesti veden päällyskerroksen suolapitoisuus oli kasvanut siihen pisteeseen, että viileämpien talvilämpötilojen aikaan päällimmäisen ja alemman vesikerroksen tiheyserot olivat tasoittuneet niin paljon, että lopulta täyskierto tapahtui helmikuussa 1979. (Javor 1989, 282; Asmar & Ergenzinger 2002, 783)

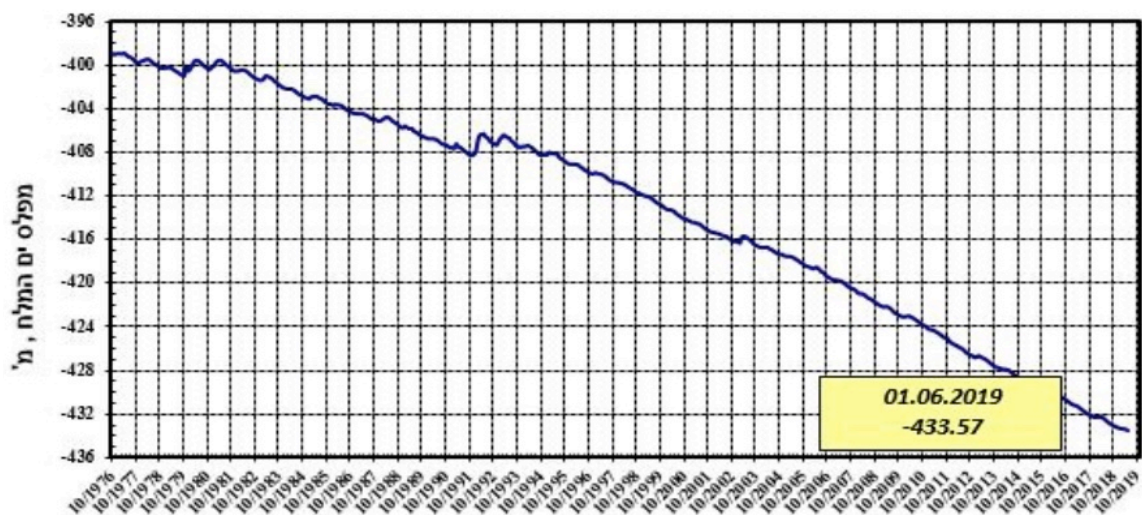
Tällä hetkellä Kuollutmeri on *monomiktinen* eli vesikerrokset sekoittuvat kerran vuodessa, yleensä joulukuun lopussa. Vesimassa on vertikaalisesti homogeenistä joulukuusta maaliskuuhun, kunnes huhtikuussa veden lämpötilaeroihin perustuva termohallinnainen tiheyskerrostuneisuus alkaa muodostua. Kesän lopulla veden pintakerros jälleen jäähtyy ja sen tiheys kasvaa, kunnes saavuttaa alemman vesikerroksen tiheyden vuoden loppuun mennessä, jolloin vesi sekoittuu. (Gavrieli & Bein 2007, 110)

Korkean suolapitoisuuden vuoksi Kuolleessameressä elää ainoastaan vain muutamia mikro-organismeja. Kuolleenmeren veden koostumus eroaa muista suolajärvistä siinä, että se sisältää runsaasti magnesiumia ja kalsiumia. Tämän vuoksi ainoastaan pitkälle erikoistuneet endogeeniset mikrobilajit pystyvät selviytymään sen hypersuolaisissa vesissä. Viherlevä (*Dunaliella parva*) on Kuolleenmeren ainoa primäärituottaja, jonka orgaanista ainesta käyttävät hyväkseen punaiset arkkibakteerit. (Ben-Avraham 2001,

442) Vuosituhannen alussa veden pintakerroksesta ei enää havaittu edellä mainittuja lajeja ja oletettiin jo, että pintakerroksen suolapitoisuus on kasvanut liian suureksi elämälle. Sittemmin kuitenkin havaittiin, että vedenalaisten lähteiden läheisyydessä, jossa suolapitoisuus on alhaisempi, löytyy mikrobikasvustoa. Kaiken kaikkiaan Kuolleenmeren suolaveden solutiheys on hyvin pieni, mutta saattaa nousta runsaiden talvisateiden jälkeen. Näin tapahtui esimerkiksi vuosina 1980 ja 1992, kun järven fosfaattipitoisuus kasvoi ja veden päällyskerroksen suolapitoisuus laski 15-30%, minkä seurauksena bakteerikukinta värjäsi järven punaiseksi. (Ionescu ym. 2012)

2.3 Vedenpinnan lasku

Kuolleenmeren vedenpinnan korkeuden on arvioitu vaihdelleen viimeisten vuosituhansien aikana suurin piirtein -400 metrin tasossa puolin ja toisin. Kuivina kausina vedenpinta on laskenut, jolloin eteläisempi matalampi allas on kuivunut ja runsaiden talvisateiden aikaan taas täyttynyt. (Gavrieli & Bein 2007, 109-110) Historiallisesti katsottuna tämän hetkinen Kuolleenmeren vedenpinnan alhainen taso (noin 433 mmpa) ei ole ennennäkemätön. Nyt vesiekosysteemin negatiivinen vesitasapaino johtuu kuitenkin ihmistoiminnasta eikä luonnollisesta vaihtelusta. Vesitasapainolla tarkoitetaan yksinkertaistettuna suolajärveen virtaavan ja sieltä haihtuvan veden, eli evaporaation, määrän suhdetta. (Javor 1989, 283)



Kuva 4. Kuolleenmeren vedenpinnan kehitys. (Lähde: Israel Water Authority 2020.)

Kuolleenmeren valuma-alue on noin 40 000 km² ja se levittäytyy Israelin, Länsirannan, Jordanian, Syyrian ja Libanonin alueille. Viimeisten vuosikymmenten aikana valuma-

alueen vedenkäyttö on kasvanut runsaasti, ja makeaa vettä on käytetty juoma- ja käyttövetenä sekä viljelmien kasteluun. (Ghazleh ym. 2009, 637) Tämä näkyy selkeänä vedenpinnan laskuna (kuva 4). 1950-luvulla alueen väkiluku oli vielä noin 200 000 henkeä, mutta tällä hetkellä alueella asuu yli 7 miljoonaa ihmistä (Israel Water Authority, 2020).



Kuva 5. Kuolleenmeren valuma-alueen merkittävimmät vesistöt, joet ja wadit, Degania-pato ja vedenkuljetuskanavat.

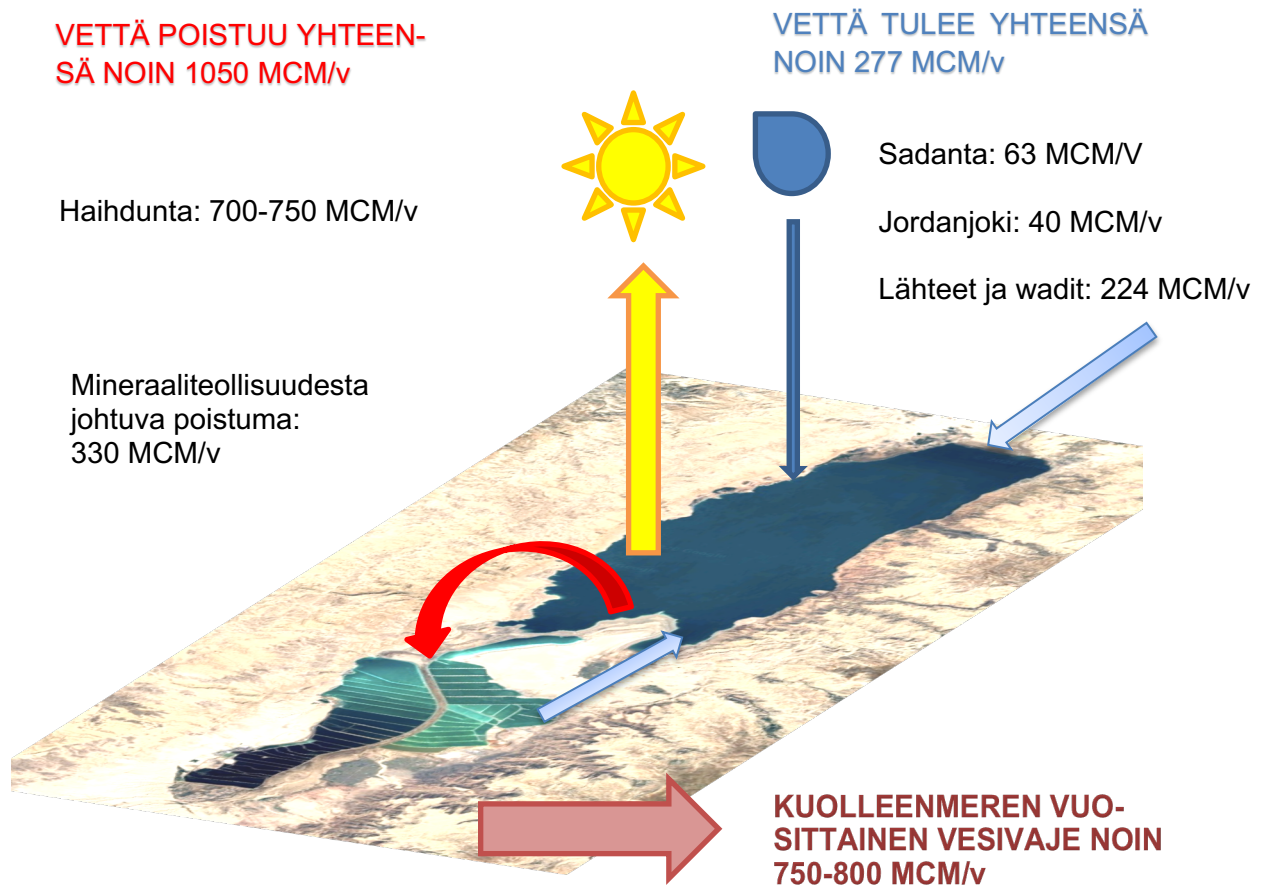
(Satelliittikuva Google Maps, täydennetty Raz 2009, 206 mukaan.)

Israel, Jordania ja Syyria ovat rakentaneet lukuisia patoja ja patoaltaita vesihuollon vuoksi (kuva 5.). Syyriaan rakennetut useat patoaltaat estävät pienempien jokien virtaamiseen Jarmukjokeen, joka yhdistyy Genesaretinjärven eteläpuolella alempaan Jordanjokeen. Jordania on puolestaan rakentanut Jarmukjokeen patoja ja patoaltaita sekä King Abdullah -kanavan, ja nämä toimet estävät lähes kaiken virtauksen Jordanjokeen. Samoin Israel on rakentanut Genesaretinjärven läheisyyteen Degania-padon ja National Water Carrier -kanavan, jotka estävät lähes kaiken veden virtaamisen Jordanjokeen. (Israel Water Authority, 2020) Lisäksi Libanon ottaa vettä Jordanjoen yläjuoksulta sekä muista pienimmistä Kuolleenmeren valuma-alueen joista (Gavrieli & Bein 2007, 110).

Merkittävin syy Kuolleenmeren viime aikaiselle laskulle on siten Genesaretinjärvestä laskevan alemman Jordanjoen ja sen laskujokien virtaaman heikentyminen. Myös Genesaretinjärven vedenpinnan taso on laskenut viimeisten vuosikymmenten aikana samoista syistä. Tosin tällä hetkellä runsaiden talvisateiden seurauksena Genesaretinjärven vedenpinnan taso on ollut poikkeuksellisen korkealla (210 mmpa) ja ensimmäistä kertaa seitsemään vuoteen järven viereinen Degania-pato saatetaan avata tulvan estämiseksi (Jeffay, 2020).

Vielä 100 vuotta sitten Jordanjoen virtaama Kuolleeseenmereen oli arviolta noin 1200-1300 miljoonaa kutiota (MCM) makeaa vettä vuodessa, kun nykyään sen virtaama on vain 40 MCM/v (Tahal Group ym. 2011, 26). Kuolleenmeren vesimassatasapainon laskelmat eroavat jonkin verran eri tutkimusryhmien (vrt. Coyne et Bellier ym. 2014, 13) välillä laskentatavan ja arvioiden mukaan. Kuitenkin lopputulos on samansuuntainen, eli vuosittainen vesihävikki on noin 750-800 MCM, mikä vastaa noin 1,1 metrin vuosittaista vedenpinnan laskua.

Kuolleeseenmereen virtaa ja sataa keskimäärin vuosittain yhteensä noin 277 MCM vettä. Tämä käsittää Jordanjoen (40-100 MCM) lisäksi etelän Wadi Aravan (10 MCM), lännen (noin 114 MCM) ja idän (noin 50 MCM) lähteet ja wadit sekä sadannan noin 63 MCM. (Tahal Group ym. 2011, 266-320) Kuivassa ja kuumassa aavikkoilmastossa evaporaatio on suurta ja arviolta noin 700-750 MCM vettä haihtuu Kuolleenmeren vedenpinnasta vuosittain eli vesitasapaino laskee negatiivisen puolelle. Sitä laskee entisestään mineraaliteollisuuden toiminta etelässä. Yhtiöt *Israel Chemicals Company* ja *Jordanian Arab Potash Company* pumppaavat yhteensä noin 520-645 MCM/v vettä pohjoisaltaasta eteläiseen altaaseen, jota käytetään "haihdunta-altaana" mineraalien ottoa varten. Yritykset palauttavat noin 240-257 MCM/v huomattavasti tiheämpää ja suolaisempaa vettä takaisin pohjoiseen altaaseen. Näin ollen mineraaliteollisuuden vuosittaiseksi vedenottomääräksi arvioidaan noin 330 MCM. (Tahal Group ym. 2011, 82) Vuosittainen vesihävikki kokonaisuudessaan on siten suurin piirtein 750-800 MCM (Tahal Group ym. 2011) (kuva 6).



Kuva 6. Kuolleenmeren vuosittainen vesivaje on noin 750-800 MCM Tahal Group ym. 2011 mukaan. (Satelliittikuva Google Maps, muokattu.)

2.4 Seuraukset Kuolleenmeren pinnanlaskusta

Vedenpinnan laskusta johtuvia ympäristövaikutuksia Kuolleenmeren alueella on muun muassa lähteiden makeanveden ehtyminen, joenuomien (*river bed*) eroosio ja tuhoisien vajoamien (*collapse-sinkholes*) muodostuminen. Erityisesti yhtäkkiä muodostuvien vajoamien lisääntymisen arvioidaan haittaavan suuresti alueen taloudellista kehitystä ja vaarantavan ihmishenkiä. Vajoamia alkoi muodostua Kuolleenmeren rannikolle sekä Israelin että Jordanian puolelle 1980-luvun alkupuolella. Niiden kehitys alkoi Kuolleenmeren eteläosista leviten vähitellen rantaviivaa pitkin pohjoiseen pääasiallisesti Kuolleenmeren länsirannikkoa pitkin. Jordanian puolella vajoamia ei ole havaittu yhtä paljon johtuen erilaisesta topografiasta, ja siellä vajoamat ovat sijoittuneet pääasialli-

sesti eteläistä ja pohjoista allasta erottavan Lisan niemimaan alueelle. (Frumkin, Ezersky, Al-Zoubi, Akkwi & Abueladas 2011, 102) Suurimmassa määrin vajoamia alkoi ilmestyä 1990-luvulta lähtien, mutta muodostumisnopeuden on havaittu huomattavasti kiihtyneen vuodesta 2000 lähtien, jolloin satoja vajoamia ilmestyi äkillisesti (Ezersky 2007, 56). Vuonna 2017 Kuolleenmeren länsirannikolla havaittiin noin 5500 vajoamaa ja vuosittain havaitaan noin 400 uutta vajoamaa (Yizhaq ym. 2017, 4944). Kuolleenmeren alueella on laajat sosiaaliset ja taloudelliset vaikutukset koko lähiympäristöön (Donnelle 2014, 154; Al-Weshah 2000, 147) ja tämän vuoksi alueen tilanne on kriittinen.

Tutkijat ovat päättelleet, että Kuolleenmeren vedenpinnan laskulla ja vajoamien muodostumisella on selkeä yhteys. Aiemmin Kuolleenmeren rannan suolakerroksia ympäröi erittäin suolainen pohjavesi, joka muistutti hyvin paljon Kuolleenmeren vettä ja jossa liuenneita yhdisteitä oli suurin piirtein yhtä paljon (*total dissolved solids*, TDS noin 340 g/l). Tämän vuoksi maakerroksen suolakerrokset eivät päässeet liukenemaan. Vedenpinnan laskusta on seurannut, että vähemmän suolainen pohjavesi, jolla on potentiaali liuottaa suolakerroksia, pääsee nyt kulkeutumaan Kuolleenmeren rannikolle huuhtomaan maanalaisia suolakerrostumia. (Ezersky 2007, 56-57) Geokemialliset tutkimukset (Tahal Group ym. 2011, 300) osoittavat, että liukenemista on tapahtunut, koska pohjaveden koostumus on muuttunut vastaamaan ominaisuuksiltaan Kuolleenmeren suolaveden ja laimeamman pohjaveden sekoitusta. Suolamuodostumien liuetessa maan alle muodostuu tyhjiä onkaloita, jotka lopulta romahtavat ja muodostavat kraatterimaisen vajoaman. Suolakerroksia on alueen maaperässä eri syvyyksissä, mutta tällä hetkessä vajoamien muodostumisessa merkittävänä tekijänä ovat noin 25-30 metrin syvyydessä olevat noin 20 metrin paksuiset suolakerrostumat. (Ezersky 2007, 56-57; Tahal Group ym. 2011, 297-300)

Onkaloiden muodostuminen on pitkälinen prosessi, joka muodostuu aikojen saatossa ja johon vaikuttavat monet tekijät, kuten maakerrosten koostumus, huokoisuus, vesisaturaatio ja suolapitoisuus. Itse vajoamisen ilmestyminen saattaa olla hyvinkin nopea prosessi, kun onkalon päällä olevan maakerroksen kantokyky loppuu. Kuolleenmerellä on havaittu kahta eri vajoamatyyppiä riippuen sedimentin laadusta. Hienojakoisissa kosteissa sedimenttiympäristössä (*mud-flats*) vajoamat ovat matalampia ja leveämpiä kuin soraisimmilla alueilla (*alluvial fans*), jossa vajoamat voivat olla huomattavasti syvempiä, jopa 20 m syviä. (Tahal Group ym. 2011, 287)

Jordanian puolella Kuolleenmeren koillisosassa tehdyt tutkimukset puolestaan osoittavat, että merestä paljastunut mutainen maa on huomattavasti epästabiilimpaa ja herkempää maanvyörymille ja eroosiolle. Etenkin rankkasateita seuraavien tulvien (*flash floods*) jälkeen on havaittu ilmaantuneen pitkittäissuuntaisia halkeamia, joista on havaittu alkavan prosessi, joka voi johtaa maanvyörymään. (Salameh, Alraggad, Amaireh 2019, 10)

3 Kuolleenmeren pelastussuunnitelmat

Kuolleenmeren kaltaisia hypersuolaisia aavikkojärviä sijaitsee Lähi-idän lisäksi muual-
lakin päin maailmaa, mutta ne eroavat suuresti toisistaan muun muassa koon, suolai-
suuden, limnologisten ja biologisten ominaispiirteidensä perusteella. Suolajärvien (ku-
ten kaikkien muidenkin ekosysteemien) ominaisuudet voivat vaihdella vuosikymmenten
aikana johtuen joko luonnollisista syistä tai ihmisen vaikutuksen seurauksena. Luon-
nonjärjestelmien voidaan ajatella muuttuvan *ekososiaalisiksi järjestelmiksi*, kun ihminen
vaikuttaa ja muokkaa niitä (Massa, 2014, 15). Ympäristön negatiivinen muutos koetaan
ympäristöongelmaksi ja tilannetta voidaan pyrkiä muuttamaan jollain tapaa. Joskus pe-
lastussuunnitelmat paisuvat hyvinkin suuriksi, ja maailmassa on paljon esimerkkejä
massiivisista hankesuunnitelmista, joissa veden virtauksia on pyritty muuttamaan. Täl-
laisia jo kertaalleen haudattuja megalomaanisia luonnon hydrologiaa ja geologiaa
muokkaavia projekteja, jotka kuitenkin aina aika ajoin päätyvät harkintaan, ympäristö-
tutkijat kutsuvat ”eläviksi kuolleiksi projekteiksi” (*zombie projects*). Ne eivät kuitenkaan
ole täysin kuvitteellisia, kuten populaarikulttuurin luomukset, vaan toteutuessaan ne
voivat aiheuttaa todellista vaaraa ympäristölle. (Gleick, Hberge & Donnelly 2014, 123)

3.1 Araljärvi varoittavana esimerkkinä

Historia tuntee useita ympäristökatastrofin kohdanneita kuivuneita vesistöjä. Yksi surul-
lisen kuuluisa tapaus on Koillis-Aasiassa sijaitseva Araljärvi, joka oli aikoinaan maail-
man neljänneksi suurin järvi. Tutkijat (Oren ym. 2010) ovat verranneet mielenkiintoises-
ti näiden kahden järven kohtaloa artikkelissa *The Aral Sea and the Dead Sea: Dispara-
te lakes with similar histories*. Näillä kahdella järvellä näyttäisi olevan hyvinkin paljon
yhteistä. Araljärvi alkoi kutistua, kun Neuvostoliitto ohjasi järveen laskeneet joet riisi- ja
puuvillapeltojen kasteluun. Tämän seurauksena järvi jakaantui erillisiksi pienemmiksi
järviksi, joista osa lopulta kuivui kokonaan. Jäljelle on suurimmaksi osaksi jäänyt suo-
lainen ja pahoin saastunut aavikkoa muistuttava järven pohja lukuun ottamatta pieniä
lahdenpoukamia. (Oren ym. 2010, 228-229)

Myös Araljärven ennallistamiseksi on ollut suunnitteilla erilaisia massiivisia vedenjuok-
sutushankkeita, jotka kuljettaisivat vettä esimerkiksi Siperiasta (*’Davydov Plan’*, 1949)
tai Kaspianmerestä. Hankkeista kuitenkin luovuttiin, koska viimeistään perestroikan ai-
kaan kävi selväksi, että hankkeet eivät olleet taloudellisesti mahdollisia. 2000-luvun

puolella hankkeet ovat kuitenkin jälleen tulleet ajankohtaisiksi (mm. *Ezekiel Water Project*), joskin tutkijoiden mukaan ne eivät ole erityisen realistisia toteutettaviksi. Lisäksi niiden ympäristövaikutukset on arvioitu todella suuriksi ja epäily, että suunnitellut hankkeet tulisivat vain pahentamaan tilannetta, on suuri. (Oren ym. 2010, 231; Schuiling & Badescu 2011a,b) Araljärven kohdalla toimenpiteissä on toistaiseksi päädytty maltillisimpiin ratkaisuihin. Vuonna 2005 valmistuneen padon vuoksi eteläisemmän altaan veden pintaa on saatu nostettua ja järven suolapitoisuutta vähennettyä. Lisäksi saastunutta järven pohjaa on viime vuosien aikana metsitetty laajalti. (Oren ym. 2010, 223-232)

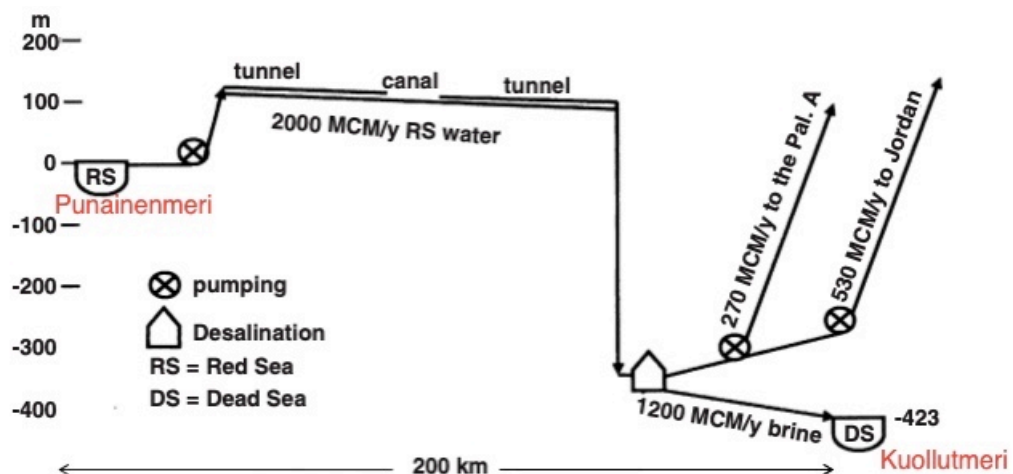
3.2 Kuolleenmeren pelastushankkeet

Erilaisia kanavasuunnitelmia, jotka kulkisivat Välimereltä Kuolleenmeren kautta Punaisellemerelle, on tehty jo 1850-luvulta lähtien. Ensimmäisen edellä mainitun kaltaisen ehdotuksen vesiyhteyden rakentamiseksi teki Britannian kuninkaallisen meriväen (British Royal Navy) kapteeni William Allen vuonna 1855 teoksessaan *The Dead Sea - A New Route to India*. Suezin kanavan rakentamisen jälkeen (1859-1869) britit kuitenkin luopuivat suunnitelmistaan. (Oren ym. 2010, 232) Israelin itsenäistymisen jälkeen vuonna 1948 alettiin jälleen suunnitella erilaisia hankkeita, joskin tähtäimessä oli pikemminkin saada rakennettua vesivoimaa kuin huoli Kuolleenmeren ympäristön tilasta (Willner ym. 2013, 7-9).

1970-luvulla energiakriisi vavisutti maailmaa, jolloin idea vesivoiman hyödyntämisestä tuli uudelleen ajankohtaiseksi. Vuonna 1974 Israelin hallitus nimitti komitean, joka alkoi tutkia eri vaihtoehtoja vesivoiman rakentamiseksi ja vuonna 1977 professori Ne'emanin komitea esitteli kuusi Kuolleenmereen päätyvää kanavavaihtoehtoa. Näistä viisi lähti Välimereltä ja yksi Akabanlahdelta. Heidän mukaansa Välimeren eteläisin reitti (*Katif Aligment*) olisi kaikista paras vaihtoehto, kun otti huomioon taloudelliset ja ympäristöön liittyvät näkökohdat. (Raz, 2009, 203) Komitean suosituksesta Israel perusti vuonna 1984 *Mediterranean Sea – Dead Sea Company* -valtionyhtiön, joka alkoi rahoittaa Välimereltä lähtevien vaihtoehtojen tutkimusta, jossa selvitettiin taloudellisia, teknisiä ja poliittisia näkökohtia sekä rakentamisesta mahdollisesti aiheutuvia ympäristövaikutuksia (Gavrieli & Bein 2007, 112). Tällöinkin hanke kuitenkin loppujen lopuksi hylättiin, koska sitä vastustettiin kansainvälisesti ja lisäksi se koettiin liian kalliiksi (Oren ym. 2010, 232).

Samanaikaisesti 1980-luvulla käänteisosmoositon teknologian nopean kehityksen myötä Israelin kansallinen vesiyhtiö *Mekorot* ehdotti desalinoidun veden tuottamista merivedestä ja kanavahankkeita alettiin pohtia uudesta näkökulmasta (Raz 2009, 203). Kuitenkin vasta myöhemmin 1990-luvun alkupuolella, kun Israel todella kamppaili vesipulan kanssa, Israelin *The Ministry of Energy and Infrastructure* (IL-MOE) käynnisti *The Dead Sea Hydro Projektin* (DSHP), jonka tarkoituksena oli löytää taloudellisesti kannattavin vaihtoehto tuottaa desalinoitua vettä sekä lisäksi vesivoimaa. Tällöin hankkeelle oli kolme eri vaihtoehtoa: 1) kanava Välimerestä Katifin (Gaza) kautta (*The Qatif Alignment*), 2) kanava Välimerestä läheltä Haifaa tai Haderaa (*The Amakim Alignment*) ja 3) kanava Punaisesta merestä läheltä Eilatia ja Akabaa (*The Arava Alignment*). (Gluekster, 2006; Raz, 2009)

Samoihin aikoihin oli meneillään lisäksi Israelin ja Jordanian rauhanneuvottelut. Osapuolten tapaamisissa vuonna 1993 Israel ehdotti desalinoidun veden tuottamista Punaisesta merestä lähialueiden ja erityisesti Jordanian tarpeisiin. Israelin ja Jordanian solmittua rauhan vuonna 1994 valtiot aloittivat tunnustelut yhteistyöstä, jonka seurauksena perustettiin työryhmä *Multilateral Working Group on Water Resources*. (Donnelly, 2014, 155) Vuonna 1996 Harza JRV Group esitteli oman versionsa kanavahankkeesta: Red Sea - Dead Sea Canal (RSDSC) (kuva 6), jonka pohjalta nykyinen suunnitelma kehittyi (Raz, 2009, 204).



Kuva 6. Harza Groupin (1996) yksinkertaistettu RSDSC-hankesuunnitelma, jossa Punaisesta merestä pumpataan vettä vuosittain 2000 MCM, joka johdetaan vesivoimalaitoksen kautta desalinaatiolaitokseen. Suunnitelmassa suolasta puhdistettua vettä juoksetettaisiin vuosittain Länsirannalle 270 MCM ja Jordaniaan 530 MCM. Kuolleeseen mereen päätyisi vettä 1200 MCM/v. (Lähde Raz, 2009, 204)

Vuonna 2001 järjestö *The Center for Middle East Peace and Economic Cooperation* puhalsi Punaisenmeren ja Kuolleenmeren välisen kanavahankkeen jälleen henkiin nimeämällä sen ”Rauhan kanavaksi” (*Peace Conduit*). Tällä kertaa Kuolleenmeren pelastaminen vaihdettiin sen ensimmäiseksi prioriteetiksi. Vuonna 2002 pidetyssä kestävä kehityksen huippukokouksessa Johannesburgissa Israel ja Jordania ilmoittivat sitoutuvansa hankkeeseen. Toukokuussa 2005 Israel, Jordan ja palestiinalaishallinto pyysivät Maailmanpankkia selvittämään, olisiko mahdollista ehkäistä Kuolleenmeren aluetta uhkaavat kielteiset ympäristövaikutukset sekä ennallistaa sen vedenpinnan taso aiemmalle tasolle juoksuttamalla sinne vettä Punaisestamerestä. Maailmanpankki hyväksyi pyynnön ja lupautui hallinnoimaan 15,5 miljoonaa dollaria kustantavan kanavahankkeen esitutkimuksen toteutusta sekä lisäksi hankkimaan tälle rahoituksen. (Donnelly 2014, 154-155)

Selvitysprosessin päätteeksi vuonna 2013 Maailmanpankki julkaisi kolme suunnitelma-raporttia, jotka ovat: Esiselvitystutkimus (*A Feasibility Study, FS*), Ympäristö- ja sosiaalisten vaikutusten arviointi (*An Environmental ja Social Assessment, ESA*) ja Hanke-vaihtoehtojen selvitys (*A Study of Alternatives, SoA*). Ympäristö- ja sosiaalisten vaikutustenarviointi käsittää lisäksi kaksi erillistä tutkimusta, jotka ovat Punaisenmeren mallinnustutkimus (*A Red Sea Modelling Study, RSMS*) ja Kuolleenmeren mallinnustutkimus (*A Dead Sea Modeling Study, DSMS*). Näissä tarkastellaan suunniteltujen vaihtoehtojen mahdollisia ympäristövaikutuksia sekä Akabanlahteen että Kuolleenmereen. Raporttien julkaisusta on seurannut laaja yhteiskunnallista keskustelua hankkeen puolesta ja vastaan.

4 Tutkimuksen toteutus

Tämä tutkimus on laadullinen ja sijoittuu yhteiskuntatieteiden ja luonnontieteiden väli- maastoon. Puhtaasti luonnontieteelliseen tutkimukseen tai toisaalta yleiseen yhteiskun- tatieteelliseen tutkimukseen verrattuna yhteiskuntatieteellinen ympäristötutkimuksen tutkija joutuu laajentamaan tieteidenväliseen tutkimukseen (Massa 2014, 15). Tutustut- tuani yhteiskuntatieteellisen ympäristötutkimuksen kirjallisuuteen sekä alustavan ai- neiston keräämisen ja analysoinnin viitoittamana tutkimukseni lähestymistavaksi muo- toutui deskriptiivinen eli kuvaileva tapaustutkimus.

4.1 Tapaustutkimus tutkimusstrategiana

Tapaustutkimusta voidaan tehdä monista eri tieteenaloista ja näin ollen hyvin erilaisista lähtökohdista ja erilaisin tavoittein, mistä seuraa tapaustutkimuksen yleispätevän ja kat- tavan määrittelyn vaikeus. Tapaustutkimus ei ole suoranaisesti yksittäinen tutkimus- menetelmä vaan pikemminkin tutkimustapa tai -strategia, koska se voi sisältää lähtö- kohtaisesti useita erilaisia metodeja, aineistoja ja analyysimenetelmiä. (Laine, Bamberg & Jokinen 2007, 9) Eriksson ja Koistinen (2005, 4) huomauttavatkin, että kaikkia ta- paustutkimuksia yhdistävä tekijä on kuitenkin se, että siinä tarkastellaan yhtä tai use- ampaa 'tapausta', joiden määrittely, analysointi ja/tai ratkaisu ovat tapaustutkimuksen keskeisiä tavoitteita. "Olennaista on, että käsiteltävä aineisto muodostaa tavalla tai toi- sella kokonaisuuden, siis tapauksen" (Saarela-Kinnunen & Eskola 2015).

Tapaustutkimuksen tiedonintressiä pidetään yleensä idiografisena (tapauskohtaisena) eli ainutlaatuista tutkivana. Sen vastakohtana on toisaalta lainalaisuuksia etsivä, nomo- teettinen, tiedonintressi. (Peltola 2007, 112) Tapaustutkimus tarkastelee usein moni- mutkaisia ja pitkään jatkuvia ilmiöitä, ja päämääränä on lisätä ymmärrystä tutkittavasta tapauksesta ja olosuhteista perusteellisen ja tarkkapiirteisen (*thick description*) kuvauk- sen avulla. Toisaalta tapaustutkimus ei ole vain pelkkä kuvaus tapahtumien kulusta tai ilmiön sisällöstä, vaan siihen liittyy myös kiinnostus jotain tiettyä jännitettä kohtaan. Ta- paustutkimukselle on lisäksi ominaista, että pyritään selvittämään jotakin, mikä vaatii li- sävalaisua. (Laine ym. 2007, 9-10) Tapaustutkimus voi pyrkiä esimerkiksi hahmotta- maan tiettyjä ilmiöitä eri näkökulmista ja sen avulla voidaan tulkita kulttuurisesti tai his- toriallisesti tärkeitä ilmiöitä ja antaa ääni marginaalisille tai yhteiskunnassa näkymättö- mille ryhmille (Häikiö & Niemenmaa 2007, 46).

Klassisen tapaustutkimuksen tarkoituksena on useimmiten ollut tuottaa tutkittavasta asiasta 'tiheä kuvaus' tai 'hyvä tarina', jonka voi nähdä jo itsessään olevan teoriaa luovaa tuodessaan lisää ymmärrystä maailmasta, kuten esimerkiksi Bruner (1991) ajatteli. Czarniawskan mukaan (1998) "maailman ymmärtäminen tapahtuu tarinoina, ja tällöin tarinan juonta voidaan ajatella teoriana". Tämän tapaustutkimuksen tutkimustyyppi Staken (1995, 3) luokituksen mukaan sijoittuu 'itsessään arvokkaaksi tapaustutkimukseksi' (*intrinsic case study*), koska "tutkijalla on erityinen kiinnostus tiettyyn, ainutlaatuiseseen tapaukseen ja hän haluaa ymmärtää tätä tapausta hyvin kaikkine yksityiskohtineen". Tällöin ensisijaisena päämääränä ei ole yleisen teorian muodostaminen tapauksen pohjalta vaan ennemminkin tutkijan tulisi kiinnittää huomiota tapauksen taustan ja kontekstin kuvaukseen, sillä Staken (1995) mukaan tämä auttaa tulkitsemaan ja ymmärtämään itse tapausta. (Eriksson & Koistinen 2005, 9-11)

Stoecker (1991) on verrannut tapaustutkimuksellista lähestymistapaa määrälliseen ja tilastolliseen tutkimukseen ja väittää, että tapaustutkimus (ja laadullinen tutkimus yleensä) tuottaa parempia ja tarkempia selityksiä ilmiöille ja prosesseille kuin muuttujapohjainen määrällinen tutkimus. (Eriksson & Koistinen 2005, 31) Tästä varmasti voi olla montaa mieltä, mutta näkisin, että näillä kummallakin tutkimustavalla on omat vahvuutensa, joita tutkija voi yhdistellä täydentämään toisiaan. Tapaustutkimuksen rikkaus lieeneekin sen mahdollisuus kuvata ja tarkastella tapausta kokonaisvaltaisesti ja joustavasti. Voisi sanoa, että tapaustutkimuksella ei ole pelkästään mahdollisuutta nähdä metsää puilta, vaan parhaimmassa tapauksessa koko sen sukkessiokehitys.

4.1.1 Tapaustutkimuksen yleistämisestä

Tapaustutkimus on kontekstuaalista sekä aika- ja paikkasidonnaista, minkä vuoksi tapaustutkimuksen tulokset eivät ole suoraan yleistettävissä (Malmsted 2007, 63). Tapaustutkimusta yleensä arvostellaankin sen puutteesta luoda tilastollisia yleistyksiä. Joskus myös liian idiografinen ote voi jättää tapauksen merkityksen ohueksi. Yleensä kuvailevat ja selittävät tapaustutkimukset perustuvat yhteen tapaukseen ja sen seikka-peräiseen ja intensiiviseen tutkimiseen, missä tapauksen erityisyys ja mielenkiintoisuus korostuvat. Toisaalta useampaan tapaukseen perustuvat tapaustutkimukset ja niiden järjestelmällinen vertaaminen eli replikaatio kehittävät jo puolestaan teoriaa. (Peltola 2007, 112) Lappalaisen (2007, 192) mukaan etenkin poliittista toimintaa, joka on tilanne- ja ongelmasidonnaista, on kannattavaa tutkia tapauskohtaisesti ja yleistämisen sijaan *erityistään*. Lappalainen kritisoikin vallitsevaa yleistettävyyden ihannetta, mistä

hänen mukaansa on kehittynyt ”tutkimuksen tekemisen luonnollinen asenne”. Hän väittääkin, että yleistäminen oli kansallisvaltioiden kukoistuskauteen kuulunut ideologia: ”Yleistämisellä luotiin ymmärrystä, että kansallisvaltiot ovat yhtenäisiä ja että niillä on kokonaisvaltainen kansallinen identiteetti tai peräti homogeeninen kansanluonne.” Tämän näkemyksen valossa myös erityistävälle ja kuvailevalle tapaustutkimuksellekin kuuluu sijansa tutkimustapojen kirjossa.

Leino (2007, 214) huomauttaa, että vaikka tapaustutkimuksen tavoitteena olisikin ainoastaan yhden tapauksen kokonaisvaltainen ymmärtäminen, tärkeitä ovat myös ne tulokset, joita aineistosta tehdään. Niiden kautta voidaan ymmärtää tapaukseen liittyviä seikkoja ja ilmiötä yhtä tapausta yleisemmällä tasolla. Omassa tutkimuksessani tämä tarkoittaa vastaavien ympäristökatastrofien, kuten muiden suolajärvien ja vesiekosysteemien pelastussuunnitelmien vertaamista Kuolleenmeren tilanteeseen ja tähän liittyviin haasteisiin ja mahdollisiin ympäristövaikutuksiin luoden yhtäläisyyksiä tätä kautta. Yleistämisen tarpeen ja uniikin yksittäisen tapauksen välille onkin ehkä turhaa tehdä mustavalkoista kahtiajakoa; ääripäiden välillä on myös harmaansävyjä ja laajempaa ymmärrystä voidaan rakentaa tilannekohtaisesti esimerkiksi aiemmista tapauksista oppimalla tai niitä vertaamalla.

4.1.2 Rajaamisesta

Usein yksi tapaustutkimuksen ominaispiirre on tapauksen ja sen kontekstin hämäryys (Laine ym. 2007, 10). Myös minä koin, että tapauksen rajoja oli vaikea määrittää suhteessa kontekstiin, koska tutkimukseni aihe on hyvin laaja ja moniulotteinen. ”Tapaustutkimuksen kohteen ollessa suuri ja monimuotoinen ympäristökonflikti, on otettava huomioon monia ulottuvuuksia ja maantieteellisiä mittasuhteita” (Malmsten, 2007, 58). Alustavasti ajattelin, että olisin käsitellyt tutkimuksessa kaikkia RSDSC -hankkeesta aiheutuvia ympäristövaikutuksia koko sen putkiston alueella. Tämä olisi käsittänyt Kuolleenmeren lisäksi Punaisenmeren meriekosysteemin sekä vesistöjen väliin jäävän aavikkoekosysteemin. Pohdin myös tarkastelevani kaikkia mahdollisia suunnitelmia, joita on ehdotettu Kuolleenmeren pelastamiseksi. Tarkensin tutkimuskysymykset koskemaan kuitenkin vain Kuolluttamerta ja tällä hetkellä ajankohtaista RSDSC-hanketta ja siihen liittyvää kiistaa. Lisäksi kohdistin tutkimukseni kiinnostuksen kohteeksi ympäristövaikutukset, joita hankkeesta mahdollisesti seuraisi sulkien pois yhteiskunnalliset kuten sosiaaliset, taloudelliset ja poliittiset seuraamukset. Luonnollisesti tutkimuskysymysten terävöittämisellä oli tutkimusta rajaava vaikutus.

4.2 Sisällönanalyysi

Sisällönanalyysin aineistona on yleensä kielellinen aineisto ja etenkin tekstidokumentit. Tavoite on systemaattinen ja kattava kuvaus aineistosta ja sen sisällöstä. Tutkimuskysymykset ja teoreettisista käsitteistä muokattu analyttinen kehys ja sen asema aineistoon nähden muodostavat yleensä lähtökohdan sisältöluokkien valinnalle ja määrittelylle. Näin ollen sisällönanalyysia voi tehdä kolmella eri tapaa eli aineistolähtöisesti (induktiivisesti), teorialähtöisesti (deduktiivisesti) tai teoriaohjaavasti (abduktiivisesti). Deduktiivisessa sisällönanalyysissä sisältöluokat poimitaan aiemmista tutkimuksista ja käsitteistä eli teoriasta, ja usein tutkimuksen tavoitteena on testata teoriaa tutkimusaineistolla. Aineistolähtöinen eli induktiivinen analyysi lähtee liikkeelle vastakkaisesta suunnasta eli sisältöluokat pyritään ammentamaan suoraan tutkittavan aineiston pohjalta eli ”annetaan aineiston puhua”, jolloin tapaus mahdollisesti pystyy kehittämään teoriaa eteenpäin. Kahden edellä mainitun lähtökohdan välimuoto on abduktiivinen eli teoriaohjaava analyysi, jossa sisältöluokkien muodostamisessa käytetään sekä teoriaa että aineistoa. (Silvasti, 2014, 33)

Jako aineistolähtöiseen ja teoriaohjaavaan ei aina ole niin selvärajainen, ja usein aineiston luokittelu syntyy aineiston, tulkinnan ja teoreettisen käsitteellistämisen yhteistyönä (Seitamaa-Hakkarainen & Koskennurmi-Sivonen 2014, 122-123). Näin tapahtui myös tämän tutkimuksen kohdalla. Lindholm (2014, 158-164) kritisoi mielenkiintoisesti ylipäättään koko induktiivisen tutkimusotteen määrittelyä. Hänen mukaansa aineistolähtöistä tutkimusta tuskin on edes olemassakaan, vaan pitäisi puhua ennemmin tutkijalähtöisestä analyysistä, koska luokittelu perustuu aina joihinkin tutkijan mielessä valmiina oleviin rakenteisiin. Tästä seuraa myös, että aineistolähtöinen analyysi ei ole toistettavissa, sillä jos tutkija vaihtuu toiseksi, myös tutkijan päässä olevat luokittelurakenteet vaihtuvat toisiksi. Hän toteaaakin, että laadullista analyysia ei ole helppo oppia menetelmäoppaita lukemalla vaan ”oman luovuuden esiin loihtiminen ja omaperäisten menetelmien kokeileminen ovat tie mielenkiintoisiin laadullisiin tutkimuksiin.”

Tapaustutkimuksessa voi soveltaa miltei kaikkia laadullisen tutkimuksen analyysimenetelmiä. Sisällönanalyysiin kuuluvat luokittelut eli kategorisointi, tyypittely ja teemoittelu ovat hyvin paljon käytettyjä yleismenetelmiä tapaustutkimuksessa. Tavoiteltaessa tutkimuksen suurempaa luotettavuutta tapaustutkimuksessa voidaan yhdistää myös useampi aineistotyyppi tai analyysimenetelmä, jolloin menetelmää kutsutaan triangulaatioksi. Myös määrällisiä aineistoja on mahdollista lähestyä laadullisen tutkimuksen menetelmin. ”Käytettiinpä mitä tahansa näistä menetelmistä tavoitteena on jäsentää, ver-

tailla ja ymmärtää aineistoa ensivaikutelmaa syvällisemmin, etsiä vastauksia asetettuihin tutkimuskysymyksiin sekä lopulta tuottaa omasta aineistosta jotain uutta verrattuna aikaisempaan tutkimukseen.” (Eriksson & Koistinen 2005, 30-34)

Menetelmäkirjallisuudessa tutkijat kuvaavat analyysin kulkua jonkin verran toisin sanankääntein, mutta kuitenkin samansuuntaisesti. Tuomi ja Sarajärvi (2009, 91-92) jaottelivat laadullisen analyysin seuraavasti: 1) päättää mikä aineistossa on kiinnostavaa, 2a) kiinnostavien asioiden erottelu ja merkitseminen, 2b) muun karsiminen kyseisestä tutkimuksesta (2a + 2b = koodaaminen), 3) aineiston luokittelu, teemoittelu ja tyypittely (tmv.) ja 4) yhteenveto. Shank (2002, 77) puolestaan jakaa analyysivaiheen karkeasti kahteen. Ensiksi aineisto *segmentoidaan* jollain tapaa (luokittelu, kategorisointi, tyypittely, teemoittelu) yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Seuraavaksi aineisto ja analyysin tulokset tulkitaan eli aineistosta muodostuneille havainnoille pyritään antamaan selitys ja luomaan ymmärrystä sekä rakentamaan niiden välille yhteyksiä ja lopuksi johtopäätöksiä. (Eriksson & Koistinen 2005, 30)

Chi (1997) on samalla linjalla, mutta kuvailee analyysin vaiheet taas hieman toisella tavalla ja käyttää erilaisia termejä kuin edellisissä jaotteluissa. Chi lähtee analyysiyksikön määrittämisestä ja aineiston osittamisesta (segmentointi), mikä johtaa luokittelujärjestelmän kehittämiseen ja analyysirungon laatimiseen. Vasta tämän jälkeen aineisto koodataan, tulkitaan ja raportoidaan. (Seitamaa-Hakkarainen & Koskennurmi-Sivonen 2014, 124) Joka tapauksessa onnistuneessa sisällönanalyysissä pitäisi tapahtua analyysi ja synteesi, ja lopputuloksena syntyä uusi tieteellinen johtopäätös. Koska laadullinen analyysi on luonteeltaan eklektistä eli tapoja yhdistelevää, ei ole olemassa yhtä oikeaa tapaa tehdä analyysia, vaan tutkimuskysymykset ja aineisto ohjaavat tutkijaa tietynlaisiin ratkaisuihin. Näin ollen tutkijan luova työskentely korostuu laadullisen tutkimuksen aikana. (Seitamaa-Hakkarainen & Koskennurmi-Sivonen 2014, 122)

4.3 Aineiston kerääminen ja analyysi

Sisällönanalyysia voidaan soveltaa kaikkiin sellaisiin aineistoihin, jotka ovat kirjallisessa muodossa tai kirjalliseen muotoon muunnettavissa. Koska tutkimukseni pyrkii tarkastelemaan tapausta tieteellisen tiedon lähtökohdista, se asettaa aineistolle tieteellisen tiedon kriteerin, joka samalla rajaa aineistoani ja asettaa sille erityisvaatimuksia. Valitsin aineiston hyväksymisperusteeksi samat kriteerit, mitä Salminen (2011, 32) määrittelee

soveltuvaksi kirjallisuuskatsauksen lähdekirjallisuudeksi. Näitä ovat tieteellisten lehtiarikkeleiden lisäksi julkisyhteisöjen (ministeriöt, virastot, kunnat yms.) selvitykset, kansainvälisten organisaatioiden (YK, OECD, EU) raportit ja tieteellisten järjestöjen (IIAS, IASIA, ASPA) julkaisut sekä muiden asiantuntijaorganisaatioiden (tutkimuslaitokset, 'think tankit' yms.) tutkimukset ja selvitykset. Salmisen mukaan julkisyhteisöjen tuottaman tutkimus on yleensä tehty ammattitutkijoiden toimesta ja näin ollen se on luotettavaa. Akateemisesta tutkimuksesta se eroaa siinä, että julkisyhteisöt ovat kiinnostuneita pikemminkin tuloksista ja seuraamuksista kuin teoreettisesta keskustelusta. Salminen kuitenkin huomauttaa, että asiantuntijaorganisaatioiden tuottamaa materiaalia käytettäessä on syytä pitää tutkijan kriittinen korva höröllä, sillä erilaiset 'think tankit' tuottavat materiaalia myös asiakkailleen ja tästä syystä raportit saattavat joskus olla "hieman 'värityneitä' tai painottuneita". Salmisen kirjallisuuskatsauksen lähdemäärittely puoltaa siten sekä Maailmanpankin koordinoimien raporttien että ympäristöjärjestöjen tilaamien asiantuntijoiden laatimien selvityksien ottamista aineistoksi, joskin näitä dokumentteja on syytä peilata tieteellisissä lehdissä julkaistuihin vertaisarvioituihin tutkimuksiin, mikä on osa tutkimusstrategiaani.

Osan aihetta käsittelevistä tieteellisistä artikkeleista hain käyttämällä Google Scholar - ja Helsingin yliopiston tieteellisen tiedon Helka-hakukoneita. Hakusanoina käytin muun muassa *Dead Sea*, *Jordan river*, *Dead Sea sea level*, *peace conduit*, *sinkholes*, *World Bank Dead Sea*, *Dead Sea Red Sea*, *Dead Sea limnology/microbiology jne*. Koska pelkästään hakusasanalla "Dead Sea" tuli Helkassa yli 500 000 osumaa (vertaisarvioituja 203 362 kpl, koko teksti saatavilla 162 912 kpl) oli haku luonnollisesti rajattava koskemaan vain tietyn aihepiirin lehtiä. Vajoamia (sinkholes) käsitteleviä artikkeleita löytyi yhteensä 189 kpl ja niistä poimin aiheeseen sopivimmat. Kaikki hakusanoilla löytyneet tieteelliset artikkelit eivät soveltuneet tutkimukseeni aineistoksi vaan tutkimuskysymysten asettama seula ja sitä täydentävä alustava analyysi määrittivät jatkoon pääsevät tutkimukset. Toisaalta aineistoksi soveltumattomien artikkeleiden lähdeviitteistä saattoi löytyäkin omaan aineistooni soveltuva lähde. Osa tieteellisistä artikkeleista löytyi "lumipaloteltekniikalla" eli poimimalla kiinnostavilta kuulostavia julkaisuja jo löytämieni tieteellisten artikkeleiden lähdeviitteistä. Maailmanpankin raportit hankin heidän internetsivuiltaan ja ympäristöjärjestöjen raportit puolestaan järjestöjen internetsivuilta.

Keräämäni aineiston tallensin koneelleni aineistotyyppin mukaan erillisiin kansioihin pdf-tiedostoiksi. Aineiston analyysin tein pdf-dokumentin väritystyökalujen avulla värien toimiessa koodeina eri teemoille. Koodasin keltaisella vajoamiin ja muihin jo ilmestyneisiin ympäristövaikutuksiin liittyvät arvioit, vihreällä kanavahankkeesta mahdolliset

koituvat ympäristövaikutukset ja sinisellä vaihtoehtoihin hankkeisiin, kuten ympäristöjärjestöjen kannattaman Jordanjoen virtaaman ennallistamiseen, liittyvän keskustelun. Aineistosta nousevia muita teemoja oli mahdollista koodata muilla väreillä. Koodasin esimerkiksi punaisella skenaariot, joissa arvioidaan tilannetta, jossa vedenpinta jatkaa laskuaan. Aina koodaaminen ei ollut niin selvää, koska teemat liittyivät usein toisiinsa. Tällöin koodasin kohdan sopivammalta tuntuvalle värille, jonka lisäksi alleviivasin sen merkiksi, että kohta vaatii lisätarkastelua. Aineistoni koostuu seuraavista materiaaleista:

Maailmanpankin koordinoimat raportit:

Feasibility Study, FS:

Coyne et Bellier, Tractebel Engineering & KEMA (2012). Red Sea - Dead Sea Water Conveyance Study Program. **Feasibility Study**. Draft Final Feasibility Study Report. Summary. Report No. 12147 RP 04. July 2012. 88 sivua.

http://siteresources.worldbank.org/INTREDSEADEADSEA/Resources/Feasibility_Study_Report_Summary_EN.pdf

Coyne et Bellier, Tractebel Engineering & KEMA (2014). Red Sea - Dead Sea Water Conveyance Study Program. **Feasibility Study**. Final Feasibility Study Report. Summary of the Main report. Report No. 12147 RP 05. March 2014. 89 sivua.

http://siteresources.worldbank.org/EXTREDSEADEADSEA/Resources/5174616-1416839444345/RSDS-Summary_of_Final_FS_Report.pdf

Study of Alternative, SoA:

Allan, J.A, Malkawi, A. & Tzur, Y. (2014). Red Sea – Dead Sea Water Conveyance Study Program, **Study of Alternatives**. Final Report. Executive summary and Main Report. March 2014. 186 sivua.

http://siteresources.worldbank.org/EXTREDSEADEADSEA/Resources/5174616-1416839444345/SoA-FINAL_March_2014.pdf

Environmental and Social Assessment (ESA):

ERM, BRL Ingénierie, ECO Consult (2012). Red Sea – Dead Sea Water Conveyance Study. **Environmental and Social Assessment**. Preliminary Draft Environmental and Social Assessment (ESA) – Executive Summary. July 2012. 61 sivua.

http://siteresources.worldbank.org/INTREDSEADEADSEA/Resources/Environmental_and_Social_Assessment_Summary_EN.pdf

ERM, BRL Ingénierie, ECO Consult (2014). Red Sea – Dead Sea Water Conveyance Study **Environmental and Social Assessment**. Final Environmental and Social Assessment (ESA) Report – Executive Summary. March 2014. 61 sivua.

http://siteresources.worldbank.org/EXTREDSEADEADSEA/Resources/5174616-1416839444345/ESA_ES_Mar_2014_English.pdf

Dead Sea Modelling Study (DSMS):

Tahal Group; Geological Survey of Israel (GSI); Portland State University, Oregon, USA; Institute of Life Sciences, The Hebrew University of Jerusalem; Department of Geological and Environmental Sciences, Ben-Gurion University of Negev, Department of Geography and Environment, Bar Ilan University; Israel Oceanographic and Limnological Research (2011). **Dead Sea Study**. Final Report. Red Sea – Dead Sea Water Conveyance Study Program. 348 sivua.

https://siteresources.worldbank.org/INTREDSEADEADSEA/Resources/Dead_Sea_Study_Final_August_2011.pdf

Ympäristöjärjestön tuottamat raportit:

Friends of the Earth Middle East (1999). Let the Dead Sea Live – Concept Document Toward the Dead Sea Basin Biosphere Reserve and World Heritage Listings. Amman, Jordan, Friends of the Earth.

http://ecopeaceme.org/uploads/publications_publ25_1.pdf

Friends of the Earth Middle East (2007). An Analysis of the Latest Research Commissioned by EcoPeace/FoEME on the Red Sea to Dead Sea Conduit and its Relevance to the World Bank Led Study. 26 sivua.

http://ecopeaceme.org/uploads/publications_publ75_1.pdf

Friends of the Earth Middle East (2011). Concerns of EcoPeace/Friends of the Middle East to the World Bank Terms of Reference for the Red Sea – Dead Sea Water Conveyance Project; Feasibility Study – Environmental, Technical and Economic and Environmental and Social Assessment. 2 sivua.

[http://ecopeaceme.org/uploads/13201375351~%5E\\$%5E~FoEME_Points_of_Concern_to_RDC_2011.pdf](http://ecopeaceme.org/uploads/13201375351~%5E$%5E~FoEME_Points_of_Concern_to_RDC_2011.pdf)

Friends of the Earth Middle East (2013). Comments of EcoPeace/Friends of the Earth Middle East to World Bank Public Hearings concerning Red Dead Conduit Project. Amman/Jerusalem/Ramallah

[http://ecopeaceme.org/uploads/13606843611~%5E\\$%5E~FoEME_Position_Paper_on_WB_RDC_Public_Hearing_2013_English.pdf](http://ecopeaceme.org/uploads/13606843611~%5E$%5E~FoEME_Position_Paper_on_WB_RDC_Public_Hearing_2013_English.pdf)

EcoPeace Middle East (2015). Regional NGO Master Plan for Sustainable Development in the Jordan valley. Final Report – June 2015.

http://ecopeaceme.org/uploads/Regional_NGO_Master_Plan_Final.pdf

EcoPeace Middle East (2018). EcoPeace's Vision for Stabilizing the Water Level of the Dead Sea.

http://ecopeaceme.org/wp-content/uploads/2018/03/Dead-Sea-Brief_2018.pdf

Global Nature Fund (2013). Red Sea – Dead Sea Canal and the Feasibility Study of the World Bank. Bonn. December 2013.

<https://www.globalnature.org/bausteine.net/f/8005/RedSea-DeadSeaCanalandFeasibilityStudyoftheWorldBank.pdf?fd=2>

Tutkimuksessa käytetyt tieteelliset artikkelit löytyvät lähdeluettelosta.

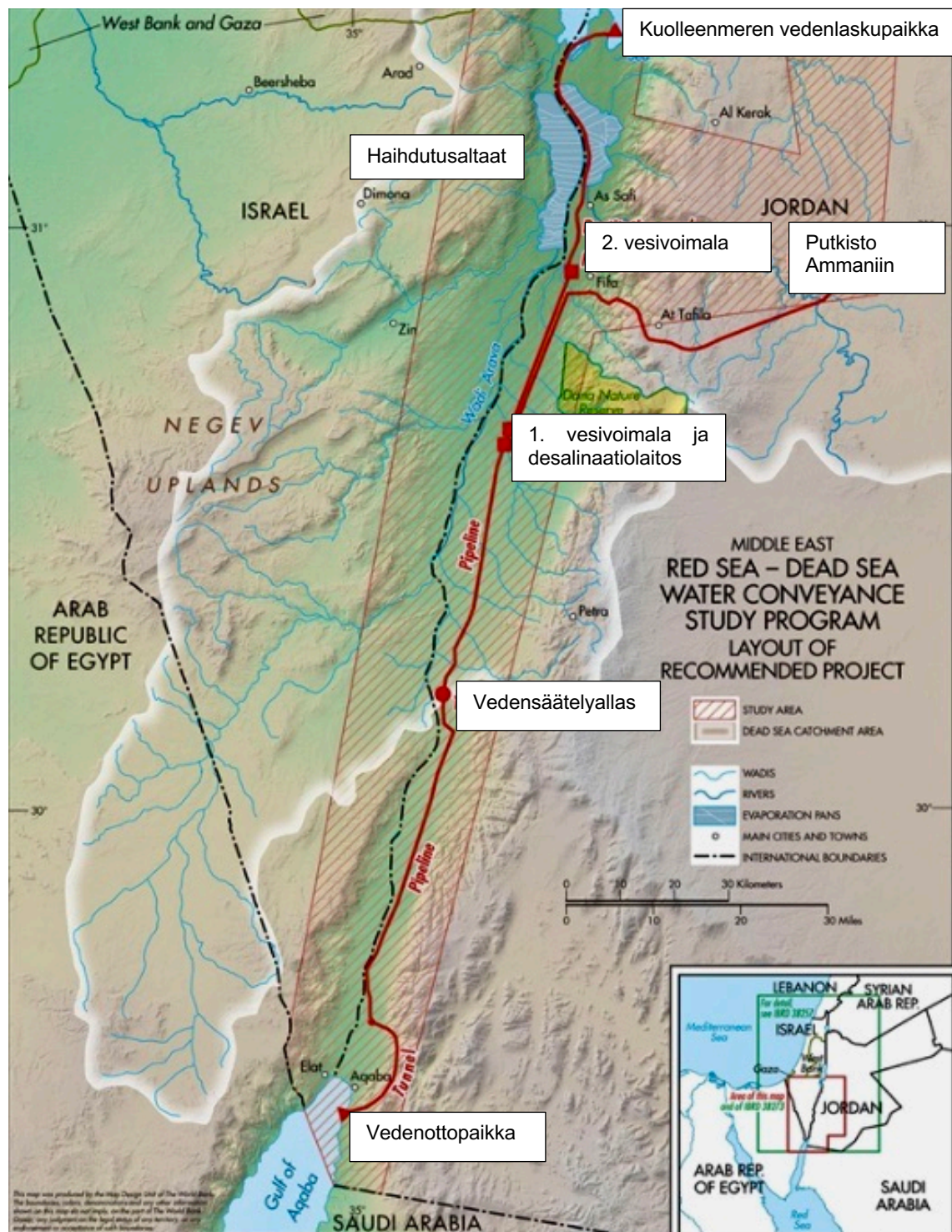
5 RSDSC – ratkaisu vedenpinnan laskuun?

Maailmanpankin selvitysten ja aiempien tutkimusten mukaan (mm. Raz 2009, 191) Kuolleenmeren vedenpinnan lasku on mahdollista pysäyttää lisäämällä Kuolleenmereen virtaavan veden määrää noin 700-800 MCM/v. Jotta vedenpinta olisi mahdollista nostaa tasoon 420-410 mmpa, tulisi lisätyn veden määrä olla yli 1000 MCM/v tai jopa 1200 MCM/v. Laskelmissa on otettu huomioon myös mahdollinen ilmaston lämpenemisen vaikutus vesistön massatasapainoon. Kun vedenpinnan tavoitetaso on saavutettu, juoksutettavan veden määrä tulisi sovittaa niin, että veden massatasapaino säilyy ja vedenpinnan taso stabiloituu. Maailmanpankki tutki (*Feasibility Study*, FS) useita vaihtoehtoisia reittejä ja malleja veden juoksuttamiseksi Punaisestamerestä Kuolleenmereen. Heidän ehdottamansa RSDSC *Base Case Plus* -malli, johon kuuluu sekä vesivoiman ja juomaveden tuottaminen, on selvityksen mukaan teknisesti ja taloudellisesti toteutettavissa. FS-tutkimus mainitsee projektin suurimmaksi riskiksi putkiston vuotomahdollisuuden ja pohjavesivarantojen saastumisen. FS antaa ymmärtää, että ympäristöön kohdistuvat vaikutukset on mahdollista pitää hyväksytyllä tasolla, mutta myöntää, että lisätutkimusta tarvitaan. (Coyne et Bellier ym. 2014, 87-88)

5.1 Maailmanpankin suosittelema malli putkistolle

Putkisto tultaisiin rakentamaan Israelin ja Jordanian rajan läheisyyteen Jordanian puolelle (kuva 7). Akabasta vesi kuljetettaisiin ensimmäiset 25 km kohti pohjoista paineistuksessa tunnelissa, minkä jälkeen vesi pumpattaisiin ylöspäin 220 m korkeuteen vedensäätelyaltaaseen, joka sijaitsisi Aravalaaksossa noin 80 km Akabasta pohjoiseen. Säätelyaltaan tilavuuskapasiteetti tulisi olemaan noin 175 000 kuutiometriä. Säätelyaltaasta vesi virtaisi painovoiman vaikutuksesta noin 50 km:n matkan, kunnes päätyisi ensimmäiseen vesivoimalaan (teho 135 MW) sekä vedenpuhdistus- ja desalinaatiolaitokseen, jonka vuosittainen desalinaatiokapasiteetti toiminnan alussa tulisi olemaan 350 MCM ja 40 vuoden päästä 850 MCM. Suolasta puhdistettua vettä juoksutettaisiin Ammaniin 230/560 MCM/v, Länsirannalle 60/60 MCM/v ja Israeliin 60/60 MCM/v. Prosessista jäljelle jäänyt suolaliuos 1650/1150 MCM/v jatkaisi painovoimaista virtaamista 32 km:n matkan toiseen vesivoimalaan (teho 116 MW). Voimalaitosten tuottama energia kattaisi osan desalinaatiolaitoksen toiminnasta. Tämän jälkeen suolavesi johdettaisiin 55 km:n matkan haihdutusaltaiden läpi Israelin ja Jordanian rajan myötäisesti kohti

Kuolluttamerta ja se laskettaisiin Lisan niemimaan idänpuoleiseen lahteen. (Coyne et Bellier ym. 2014, 85-86)



Kuva 7. Maailmanpankin suosittelema vaihtoehto RSDSC-hankkeelle (Lähde: Coyne et Bellier ym. 2014, 85, suomenkieliset nimet lisätty.)

5.2 Maailmanpankin suosittelema veden juoksutusmalli

Maailmanpankki suositteli RSDSC Base Case Plus -mallista kahta variaatiota, WB1 ja WB2, joissa juoksutettavan veden määrä ja kompositio tulisivat vaihtelevaan täyttymisvaiheen aikana. Ensimmäisessä mallissa (WB1) tavoitteena olisi pumpata Akabanlahdesta vuosittain noin 2000 MCM merivettä. Aluksi desalinaatiokapasiteetti olisi 350 MCM, mutta tätä tulaisiin lisäämään vuosittain 7-20 MCM seuraavat 40 vuotta kunnes kapasiteetti olisi 850 MCM/v. Projektin käyttöönottovuotena Kuolleeseenmereen lasketavan veden kokonaismäärä tulisi olemaan 1720 MCM, josta meriveden osuus olisi yli 70%. Desalinaatiokapasiteetin kasvun myötä meriveden osuus tulisi vähenemään ja laitoksen saavutettua täyden kapasiteettinsa 40 vuoden päästä meriveden osuus tulisi olemaan enää 8%. Tällöin myös Kuolleeseenmereen juoksutettava vesimäärä olisi vähentynyt 1320 MCM/v ja koostuisi pääasiallisesti desalinaatioprosessista jäljelle jääneestä suolaliuksesta. (Tahal Group ym. 2011, 14-15)

Toinen malli (WB2) sisältäisi aluksi viiden vuoden pilotin, jossa pumpattavat vesimäärät olisivat alhaisemmat. Alkuvaiheessa Akabanlahdesta pumpattaisiin 220 MCM/v, jolloin desalinoidun veden määrä olisi noin 100 MCM ja Kuolleeseenmereen päätyvä osuus 120 MCM/v. Viiden vuoden päästä Punaisestamerestä pumpattava vesimäärä nostettaisiin lukemaan 778 MCM/v ja desalinaatiokapasiteetti lukemaan 350 MCM/v, kuten ensimmäisessäkin (WB1) mallissa. Tällöin prosessista ylijäänyt suolaliuos, 428 MCM/v, virtaisi Kuolleeseenmereen. Kymmenen vuoden päästä pumpattava vesimäärä olisi noin 956 MCM/v, desalinaatiokapasiteetti 430 MCM/v ja Kuolleeseenmereen juoksutettava suolaliuksen määrä 526 MCM/v. WB2-mallissa arvio lopullisesta virtaavasta vuosittaisesta vesimäärästä on 1209 MCM, kun WB1:ssa se on 1320 MCM. (Tahal Group ym. 2011, 16-17)

Erona näiden kahden mallin välillä on, että WB2:ssa Akabanlahdesta pumpattavat vesimäärät ovat huomattavasti pienempiä eikä merivettä juoksuteta lainkaan suoraan Kuolleeseenmereen, kuten mallissa WB1. WB1-mallissa Kuolleeseenmereen juoksutettava vesimäärä alkaa maksimimäärästä (1720 MCM/v), jota vähitellen lasketaan. Samalla Kuolleeseenmereen päätyvän veden suolaliuksen ja meriveden suhteet muuttuvat. WB2:ssa puolestaan juoksutus aloitetaan pienestä vesimäärästä, jota koko ajan nostetaan tavoitetta kohti. WB2-mallissa muutokset vesimäärissä ja desalinaatiokapasiteetin kasvussa tapahtuvat kymmenen vuoden välein eikä vuosittain kuten

WB1-mallissa. Kummassakin mallissa desalinaatiokapasiteetin maksimi, 850 MCM/v, saavutettaisiin 40 vuodessa.

WB1-mallissa Kuolleenmeren vedenpinta nousisi nopeassa tahdissa, noin metrin vuodessa, jolloin veden kerrostuneisuus muodostuisi hyvin nopeasti. Veden päällyskerros laimenisi huomattavasti ($<1120 \text{ kg/m}^3$), minkä seurauksena myös haihtuminen kasvaisi. (Tahal Group ym. 2011, 175) WB2-mallissa kerrostuneisuus alkaisi muodostua vasta, kun juoksutettavan veden määrä kasvaisi yli 400 MCM/v eli noin viiden vuoden päästä aloitusajankohdasta. Tässä tapauksessa vedenpinta jatkaisi kuitenkin laskua, vaikka hitaammin, samalla kun vesi kerrostuisi. Käännekohta tapahtuisi kuitenkin noin 30 vuoden päästä, kun juoksutettavan veden määrä ylittäisi haihtumisen, joka olisi ehtinyt kasvaa jopa 40% johtuen pintaveden laimenemisesta. (Tahal Group ym. 2011, 164) Kummassakin tapauksessa kerrostuneisuuden seurauksena haliitin muodostuminen vähenisi, ja sitä muodostuisi ainoastaan alusvedessä, jonne juoksutettava suolaliuos vajoaisi, kun taas kipsin saostuminen kiihtyisi ja sitä muodostuisi päällyysvedessä johtuen merivedestä peräisin olevasta sulfaatista. (Tahal Group ym. 2011, 176)

6 RSDSC-hankkeen ympäristövaikutukset

Maailmanpankin FS-selvityksen (Coyne et Bellier ym. 2014) mukaan RSDSC-hankkeesta koituisi useita myönteisiä vaikutuksia Kuolleelemerelle. Kuolleenmeren vedenpinnan laskun pysäyttäminen ja pinnan tason ennallistaminen ovat sinällään myönteisiä ilmiöitä, mutta niistä seuraavat ympäristövaikutukset eivät näytä olevan kovin yksiselitteisiä ja saattavat mahdollisesti olla myös kielteisiä. ESA-raportin (ERM ym. 2014, 1) mukaan merkittävin huolenaihe on, että Kuolleeeseenmereen juoksutettava merivesi ja desalinaatioprosessista peräisin oleva suolaliuos muuttavat Kuolleenmeren olemusta, kun sen veden kemiallinen, fysikaalinen ja biologinen koostumus muuttuu. Muutosten on arvioitu heikentävän veden laatua siten, että vesistön ainutlaatuiset ominaispiirteet tuhoutuvat. Sekoittumisesta seuraavat muutokset veden autenttisessa koostumuksessa olisivat todennäköisesti havaittavissa myös silmämääräisesti, joten muutokset veden koostumuksessa tulisivat luultavasti heikentämään myös alueen esteettistä arvoa.

Tässä luvussa käsittelen hankkeesta koituvien myönteisten vaikutusten lisäksi niitä ympäristöriskejä, jotka nousevat esiin erityisesti Kuolleenmeren mallinnustutkimuksesta (DSMS), ympäristö- ja sosiaalisten muutosten arviointiraportista (ESA) sekä tieteellisistä julkaisuista ja ympäristöjärjestöjen taholta.

6.1 Vaikutukset vajoamiin ja pohjaveteen

FS-tutkimusraportin mukaan RSDSC-hankkeen ensisijainen vaikutus tulisi olemaan Kuolleenmeren vedenpinnan nopean laskun (1,1 m/v) pysäyttäminen ja pinnan nostaminen sen aiemmalle tasolle. Vedenpinnan nousun myötä sen laskusta seuranneiden mutakenttien muodostuminen (5 km²/v) lakkaisi ja osa jo muodostuneista mutakentistä peittyisi veden alle. Vedenpinnan stabiloitumisen myötä myös vajoamien muodostuminen tulisi asteittain vähenemään ja noin vuosikymmenessä niiden ilmaantumisen pitäisi loppua. Myös eroosio, joka on vaurioittanut infrastruktuuria, tulisi asteittain vähenemään seuraavan vuosikymmenen aikana vedenpinnan tason stabiloitumisen seurauksena. Lisäksi pohjaveden taso, joka on laskenut Kuolleenmeren vedenpinnan myötä, stabiloituisi ja tulisi luultavasti nousemaan Kuolleenmeren vedenpinnan mukaisesti. FS-raportti arvioi, että myös laskusuunnassa ollut kansainvälinen turismi saattaisi jälleen

lähteä kasvuun. Raportin mukaan aiemmat tutkimukset viittaavat siihen, että vedenpinnan laskulla saattaa olla yhteys vähentyneeseen kansainväliseen turismiin alueella. (Coyne et Bellier ym. 2014, 12)

Kuolleenmeren mallinnustutkimuksen mukaan vedenpinnan nousun vaikutukset vajoamien muodostumiselle eivät kuitenkaan ole näin selvät. Vedenpinnan nousun oletetaan työntävän makean ja suolaisen veden rajapintaa kauemmas Kuolleestamerestä, jolloin pienempi osa rannikon läheisyydessä olevasta suolakerrostumasta tulisi olemaan kontaktissa vähemmän suolaisen pohjaveden kanssa. Tämä prosessi tulisi ainakin periaatteessa vähentämään suolakerroksen liukenemista ja uusien vajoamien muodostumista. (Tahal Group ym. 2011, 312-314) Toisaalta Kuolleenmeren täyttämisen vaiheessa todennäköisesti muodostuva pidempiaikainen veden tiheyskerrostuneisuus saattaa synnyttää monimutkaisia yhteyksiä pohjaveden kanssa. Gavrieli & Bein (2007, 115) huomauttavat, että Kuolleenmeren pinnan kohotessa monet alueet, joille on muodostunut vajoamia ja eroosiota, alkaisivat tulvia. Päälimmäisen kerroksen vesi saattaisi päästä näin kosketuksiin maakerroksien makean pohjaveden kanssa. Lisäksi, jos pintaveden suolapitoisuus on riittävän alhainen, tulvivalla pintavedellä saattaa olla mahdollisuus liuottaa maakerroksen suolakerrostumia tässäkin tapauksessa. Näin ollen vajoamia saattaisi muodostua vielä pitkäänkin. Tutkimuksissa tuodaan esiin tarve lisätutkimukselle.

6.2 Vaikutukset Kuolleenmeren limnologiaan

Kuolleenmeren mallinnustutkimuksessa pyrittiin selvittämään erilaisia vaikutuksia, joita Kuolleenmeren täytyessä saattaisi ilmetä. Tutkimuksessa selvitettiin eri skenaarioita, joissa Kuolleeseenmereen juoksutettaisiin vettä eri määriä (400/1000/1500 MCM/WB1&WB2) eri aikavälillä vedenpinnan tavoitetason ollessa välillä 433-406 mmpa. Tutkimuksessa vertailtiin myös miten erilaiset vesityypit, kuten Punaisenmeren merivesi tai pelkkä desalinaatioprosessista jäljelle jäänyt suolavesi sekä näiden erilaiset sekoitussuhteet tulisivat vaikuttamaan Kuolleenmeren veden koostumukseen. Tutkimuksessa myös testattiin, miten mineraaliteollisuuden vedenotto ja veden takaisinlasku vaikuttavat eri skenaarioissa. Lisäksi monia muitakin muuttujia mallinnettiin ja yhteisvaikutusta analysoitiin. Eri skenaarioita verrattiin tilanteeseen, jossa nykyinen kehitys jatkuisi muuttumattomana, sekä tilanteeseen, jossa mineraaliteollisuus lopettaisi veden pumppaamisen vuoteen 2050 mennessä. Arvioitujen ympäristömuutosten laa-

juus vaihtelee jonkin verran riippuen eri skenaariosta, joskin ne ovat saman suuntaisia siinä vaiheessa, kun veden kerrostuneisuus alkaa muodostua.

6.2.1 Muutokset kerrostuneisuudessa

Satojen vuosien ajan Kuollutmeri oli meromittinen järvi, jossa oli stabiili valuman ylläpitämä tiheyskerrostuneisuus. Päälylvesi (*upper mixed layer, UML*) oli laimeampaa kuin halokliinin eli harppauskerroksen alapuolinen vesikerros. Vedenkäytön lisääntyessä ja siten järveen päätyvän valuman vähentyessä päälylvesiden suolapitoisuus kasvoi vähitellen, ja lopulta vuosien 1978 ja 1979 vaihteessa vesikerrokset sekoittuivat täysin. Siitä saakka järvi on ollut monomittinen eli veden täyskierto tapahtuu kerran vuodessa. (Tahal Group ym. 2011, 40) Tiheyskerrostuneisuuden oletetaan muodostuvan uudelleen, kun laimeampaa merivettä ja suolaliuosta juoksutetaan Kuolleeseenmereen enemmän kuin 400 MCM/v. Näin ollen RSDSC-hankkeen myötä Kuollutmeri muuttuisi monomittisestä jälleen meromittiseksi. Päälylvesiden suolapitoisuus tulisi riippumaan juoksutettavan veden suolapitoisuudesta ja määrästä. Päälylvesi tulisi muodostumaan tästä uudesta merivesikomponentista, joka osittain sekoittuisi Kuolleenmeren autenttiseen veteen. (Tahal Group ym. 2011, 24) Ajan mittaan harppauskerroksen pohjan arvioidaan syvenevän alusveden samanaikaisesti tihentyessä johtuen osittain siitä, että mineraaliteollisuus joutuisi pumppaamaan vettä haihdutusaltaisiinsa entistä syvempää johtuen laimeammasta päälylvesestä (Tahal Group ym. 2011, 167).

Sinänsä uudesta kerrostuneisuuden tilasta ei pitäisi syntyä kielteisiä ympäristövaikutuksia, jos päällimmäinen vesikerros ei tulisi menettämään Kuolleelemerelle tyypillisiä veden ominaispiirteitään, kuten sen ainutlaatuista mineraalikoostumustaan. RSDSC-hankkeen myötä veden kemiallisen koostumuksen arvioidaan kuitenkin muuttuvan, jonka vuoksi vuotta 1979 edeltänyttä kerrostuneisuuden tilaa ja RSDSC-hankkeen seurauksena syntyvää tilannetta ei voida suoraan verrata toisiinsa. (Bashitialshaaer, Persson & Aljaradin 2011, 2) Muodostuvasta kerrostuneisuudesta johtuen alempiin kerroksiin saattaisi syntyä uudestaan hapeton kerros, jonne syntyy sulfaattia ja jossa saattaa olla raskasmetalleja liuenneina (Gavrieli & Bein 2007, 114). Tällä ei kuitenkaan tulisi olemaan suoria vaikutuksia Kuolleenmeren ympäristölle, jos mineraaliteollisuus ei pumppaisi sulfaattipitoisia vesiä haihdutusaltaisiinsa (Tahal Group ym. 2011, 100). Tutkijoiden mukaan lisätutkimusta tarvitaan.

6.2.2 Veden vaalentuminen

Meriveden sekoittumisen myötä Kuolleenmeren veden koostumuksessa tapahtuisi muutos, jolloin kalsium (Ca^{2+}), jota Kuolleenmeren vedessä on paljon ja merivedestä peräisin olevan sulfaatti (SO_4^{2-}) reagoisivat muodostaen kalsiumsulfaattihydraattia eli kipsiä ($\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$). Tietynlaisissa olosuhteissa veden päällimmäinen kerros saat-taisi vaaleta, jolloin se vaikuttaisi kielteisesti Kuolleenmeren esteettisiin ominaisuuksiin. (Gavrieli & Bein 2007, 114) Veden vaalentumisella puolestaan on vaikutus järven muihin fysikaalisiin parametreihin, kuten lämpötasapainoon, heijastuskykyyn ja haihtumi-seen (Tahal Group ym. 2011, 36).

Kuolleenmeren haihtumisen arvioidaan kasvavan johtuen sen pintaveden suolapitoi-suuden ja tiheyden vähenemisestä. Siihen myötävaikuttaa lisäksi sameuden mahdolli-nen lisääntyminen muun muassa mahdollisten mikrobikukintojen seurauksena, koska tummempi vesi absorboi eli imee enemmän auringonsäteilyä, jolloin haihdunta kasvaa. Toisaalta, jos kipsimuodostumat syntyvät aivan vedenpintaan eli vedenpinta vaalenee, sen absorptio on pienempi ja näin ollen myös vedenpinnan haihdunta vähenee. (Gav-riel & Bein 2007, 113-114)

ESA-tutkimus tuo esiin epävarmuuden kipsin saostumisprosessin todennäköisyydessä ja laajuudessa. Arvioiden mukaan RSDSC-hankkeen myötä kipsiä saattaa alkaa muo-dostua joko puuterimaisessa tai hyytelömäisessä muodossa tehden vedestä ”maito-maista”. Kaikista akuuteimmat vaikutukset tulisivat olemaan Lisan niemimaan pohjois-puolella sijaitsevassa lahdessa, johon juoksutusputki tulisi laskemaan meriveden ja/tai suolaliuoksen. Saostumista ja vaalenemista ei siis välttämättä tulisi esiintymään koko vesistön alueella, mutta vedenpinnan lateraalinen sekoittuminen voi toisaalta olla hy-vinkin nopeaa, jolloin vaikutukset tulisivat koskemaan koko Kuolleenmeren pinta-alaa. (ERM ym. 2014, 24) DSMS-tutkimuksessa puolestaan todetaan, että kipsin saostumi-nen Kuolleenmeren suolaisessa vedessä on hyvin hidasta, mutta sen jälkeen kiteet kasvavat nopeasti, minkä jälkeen ne pian uppoavat läpi vesikerrosten (Tahal Group ym. 2011, 120). Mekanismissi ei kuitenkaan ole yksinkertainen:

”Understanding and predicting gypsum precipitation in general and the proba-bility of whitening event as a result of the introduction of seawater or reject brine to the Dead Sea in particular, are highly complicated.” (Tahal Group ym. 2011, 129)

FS-selvityksessä puolestaan mainitaan, että vaalentumisilmiötä olisi luultavasti mahdollista vähentää jonkin verran lisäämällä veteen kipsikiteitä ja näin ollen nopeuttaa saostuneen kipsin sedimentoitumista (Coyne et Bellier ym. 2014, 83).

6.2.3 Levä- ja bakteerikukinnot

Kuolleenmeren vedenpinta on laimennut joinain vuosina hetkellisesti runsaiden talvisateiden aikaan, jolloin järven primäärituottaja *Dunaliella*-viherlevä runsastuu vedenpinnassa. Viherleväkukintoa seuraa arkkibakteerien lisääntyminen ja niiden pigmentistä johtuen vedenpintaan muodostuu punainen hohde. Näin tapahtui mm. runsaiden talvisateiden aikaan vuosina 1980 ja 1992, jolloin koko järven pinta hohti punaisenaan. (Tahal Group ym. 2011, 86) Myös aiemmat tutkimukset viittaavat, että päällimmäisen vesikerroksen suolapitoisuuden laimenemisen ja merivedestä peräisin olevan fosfaatin määrän lisääntymisen seurauksena muodostuisi levä- ja bakteerikukintoja (mm. Gavrieli & Bein 2004, 114; Oren, Gavrieli, Gavrieli, Kohen, Lari & Aharoni 2004).

DSMS-tutkimuksen (Tahal Group ym. 2011, 92) mukaan Punaisenmeren merivedessä ei kuitenkaan ole paljon fosfaattia, joten sen ei arvioida vaikuttavan Kuolleenmeren fosfaattimäärään. Fosfaatti on Kuollessameressä rajoittava ravinne, vaikka muihin vesistöihin verrattuna sitä on melko suuri pitoisuus. Tämä viittaa siihen, että Kuolleenmeren suolaliuoksen epätavallisella ionikompositiolla saattaa olla sitä rajoittava vaikutus. Gavrieli ja Bein (2007, 114) huomauttavat, että fosfaattia käytetään yleensä desalinaatio-prosessissa apuaineena ja heidän mukaansa fosfaattiperäisten aineiden käyttämistä prosessissa tulisi välttää joka tapauksessa.

Kipsin saostustutkimuksissa havaittiin, että myös raudan määrällä saattaa olla merkitystä *Dunaliella*-viherlevän kasvulle tilanteessa, jossa fosfaatin määrä on kasvanut, kun taas muilla tutkituilla ioneilla ei havaittu leväkasvustoa kiihdyttävää vaikutusta. Tutkimus arvioi, että kerrostuneisuuden myötä veden rautapitoisuus saattaisi kasvaa veden pohjakerroksissa, mutta sen käytettävyyttä päällysveden mikro-organismeille olisi kuitenkin hyvin rajoitettua. Ravinteiden ja kukinnon väliset vaikutussuhteet eivät kuitenkaan ole täysin selvät. (Tahal Group ym. 2011, 92-93)

DSMS-selvityksen (Tahal Group ym. 2011, 324) mukaan biologisia leväkukintoja alkaisi esiintyä, kun täyttövaiheessa muodostuisi tiheyskerrostuneisuus ja päällysveden suolapitoisuus laimenisi vähintään 10-15%. Kenttätutkimuksissa havaittiin, että kun pääl-

lysvesi laimeni vielä tästä (tiheys vähemmän kuin 1160 kg/m³) levä- ja arkkibakteerikukintojen jälkeen ilmaantui myös syanobakteerikukintoja (*Aphanothece halophytica*) eli sinilevää, jotka muodostivat ruskeanvihertäviä pahalta haisevia limalauttoja vedenpintaan. Lisäksi havaittiin, että sinilevän lima kasvattaa huomattavasti veden viskositeettia ja tekee limalautoista vaikeasti hajoavia, joten niitä kerääntyy vedenpintaan. Levä- tai mikrobiologinen kukinta ei ole haluttu ominaisuus Kuolleelemerelle.

Kuolleenmeren mallinnustutkimuksessa (DSMS) pohditaan tilannetta ennen Kuolleenmeren täyskiertoa (1978/1979), jolloin järvi oli ollut pitkään meromikkinen ja päällysveden tiheys oli paljon alhaisempi kuin se on nykyään. Oletus oli, että näissä olosuhteissa mikrobikukinnot olisivat olleet tavanomaisia. Kuitenkaan mistään merkittävistä biologisista kukinnoista ei ole havaintoja, mikä jättää kukintojen esiintymisen ja siihen vaikuttavien seikkojen kuten mineraalien saostumisen yhteyden epäselväksi, mutta ilmeisen kiinnostavaksi ilmiöksi. (Tahal Group ym. 2011, 91)

"When considering the possibility that co-precipitation events may reduce the availability of the nutrients in the Dead Sea, it is interesting to note that the Dead Sea is probably the only truly deep hypersaline lake in the world where mineral precipitation may remove nutrients to depths below the photic zone."
(Tahal Group ym. 2011, 92)

Tutkimukset viittaavat, että kipsin saostumisen lisääntymisellä saattaa olla leväkukintoja hillitsevä vaikutus, kun kipsin saostumisen myötä leväkukinnalle oleelliset ravinteet, kuten fosfaatti ja rauta, saostuisivat samalla, eivätkä olisi käytettävissä vedenpinnassa. Lisäksi levän kasvuun vaikuttaa päällysveden tiheyden lisäksi sen syvyys ja sekoittuminen, koska levän yhteyttäminen vähenee, kun se joutuu olemaan pitkittyneen ajan syvyydessä, jossa ei ole riittävästi valoa. Leväkukinnon mahdollisuus saattaa siten olla pienempi laimeassa, mutta syvässä vedessä. Täyttövaiheessa kukintoja kuitenkin arvioidaan muodostuvan. (ERM ym. 2014, 23-24)

6.3 Muita ympäristövaikutuksia ja pohdintaa

Qdaisin (2007) suorittaman analyysin mukaan suurin negatiivinen ympäristövaikutus tulisi puolestaan olemaan desalinaatioprosessista syntyvän suolaliuoksen sisältämien epäpuhtauksien vaikutus Kuolleeeseenmereen. Tutkimuksessa suolaveden arvioidaan sisältävän useita eri kemiallisia lisäaineita ja puhdistusaineita sekä esikäsittelemikemialeja. Muita merkittäviä haitallisia ympäristövaikutuksia voisi sattua, jos rakentamisvai-

heessa tapahtuisi jokin massiivinen vahinko, jolloin pohjavesivarastot voivat altistua pilaantumiselle. Lisäksi tulevaisuudessa mahdollisesti muuttuvat sää- ja ilmasto-olot saattavat vaikuttaa edellä mainittuihin oletettuihin vaikutuksiin tavalla, jota mallinnukset eivät ole osanneet ennakoita. Mahdollisiin RSDSC-hankkeesta syntyviin kielteisiin ympäristövaikutuksiin on pyritty varautumaan toimintasuunnitelmalla (*Environmental and Social Management Plan*, ESMP).

DSMS-tutkimuksen mukaan Kuolleenmeren limnologisen mallin rakentaminen on ollut hyvin haastava tehtävä, koska tavallisesti tutkittavien vesialueiden dynamiikka määräytyy alustavasti tiheyserojen ja tuuliolosuhteiden mukaan. Yleensä luonnonvesien tiheyserot poikkeavat korkeintaan muutamia prosentteja, kun taas Kuolleenmeren veden tiheyserot ovat huomattavasti korkeampia. Kuolleenmeren suolaveden (*the Dead Sea brine*) ja sinne virtaavan makean veden tiheysero saattaa olla jopa 20%. Mineraaliteollisuuden palauttamat vedet puolestaan ovat tiheydeltään jopa 10% korkeampia kuin Kuolleenmeren suolavesi. Tällaisista eroavuuksista ei ole ollut aiempia limnologisia ja osenografisia mallinnuksia saatavilla. (Tahal Group ym. 2011, 131)

Aiempien tutkimusten (mm. Gavrieli & Bein 2007) mukaan vuosittainen talviaikaan ajoittuva vedenkierto on riippuvainen nimenomaan Kuolleenmeren pintakerroksen suolan saostumisesta. Mallinnustutkimuksen toisena haasteena oli suolan saostumiseen liittyvät prosessit, joilla on merkittävä rooli Kuolleenmeren limnologialle. Suolan saostuminen vaikuttaa veden suolapitoisuuteen ja näin ollen myös tiheyteen. DSMS-raportin mukaan veden kemiallisista koostumusta, suolan saostumista ja näihin liittyviä prosesseja tulisi seurata ja tutkia lisää, jotta olisi mahdollista arvioida tulevia muutoksia, kun Punaisestamerestä juoksutettava vesi kohtaa Kuolleenmeren suolaveden. Lisäksi suolan saostumista pohjaan tulisi seurata, koska se vaikuttaa myös havaittuun vedenpinnan tasoon. Myös mineraaliteollisuuden suolajärveen palauttamat hyvin suolaiset loppuliemet (*end-brines*) ovat huomattavasti tiheämpiä ja ne muuttavat Kuolleenmeren kemiallista koostumusta. Niiden käyttäytymisestä ja merkittävydestä ei ole täyttä varmuutta, ja Kuolleenmeren mallinnustutkimuksessa mainitaankin, että myös niiden käyttäytymistä tulisi jatkotutkia. (Tahal Group ym. 2011, 33, 132)

Hankkeesta aiheutuvat ympäristövaikutukset eivät ole selvät ja tämä näkökohta tuodaan esiin jo aivan Kuolleenmeren mallinnustutkimuksen (DSMS) saatteessa:

"Given the uncertainties in the modelling, as discussed in the report, it is clear that additional work will be required if project is to be implemented at the higher

volume range (> 400 MCM/yr), such that will lead to dilution of the surface water".
(Tahal Group ym. 2011)

Lisäksi saatteessa mainitaan, että on suositeltavaa edetä hitaasti ja varmin askelin, jotta kielteiset ympäristövaikutukset olisi mahdollista välttää mahdollisimman hyvin.

"-- it is preferable to study and mitigate unexpected impacts and phenomena which may arise once seawater first mixes in the Dead Sea, before a full scale RSDSC is implemented." (Tahal Group ym. 2011)

FS-selvityksen suosittlemassa RSDSC Base Case Plus WB1-mallissa hankkeen aloitusvuonna Kuolleeseenmereen juoksutettava meriveden määrä (1720 MCM/V) vaikuttaa massiiviselta ottaen huomioon edellä mainittu ja suositeltu varovaisuusperiaate. Toisaalta sen variaatio WB2:ssa, joka lähtisi liikkeelle pilottitestillä ja jossa vaikutuksia tarkkaillaan, mahdollisiin kielteisiin vaikutuksiin olisi mahdollista reagoida helpommin.

7 Ympäristöjärjestöjen ääni

Tutkimukseni vahvisti olettamusta, että ympäristöjärjestö *Friends of the Earth Middle East* (FoEME), sittemmin *EcoPeace Middle East*, on ollut erittäin huolestunut Maailmanpankin rahoittaman RSDSC-hankkeen mahdollisista ympäristövaikutuksista ja erityisesti Kuolleenmeren alueen ekologian häiriintymisestä. Lisäksi järjestö on arvostellut koko Maailmanpankin selvitysprosessin ajan sen toimintatapoja ja pyrkinyt vaikuttamaan siihen mm. julkaisemalla kannanottoja sekä tekemällä omaa tutkimustaan aiheesta.

7.1 Huoli RSDSC-hankkeen ympäristövaikutuksista

FoEME:n mukaan Israelin, Jordanian ja palestiinalaishallinnon ajaman RSDSC-hankkeen vaikutukset Kuolleenmeren ekologialle tulisivat olemaan laajat eikä lopputulos olisi välttämättä toivotun mukainen. He nojaavat kantansa ESA- ja FS-raportteihin, joissa mainitaan useissa kohdin, että ympäristövaikutukset eivät ole selviä ja lisätutkimusta kaivataan (FoEME 2013). Ympäristöjärjestö Global Nature Fund (2013) näpätää, että hallitusten johtopäätökset hankkeen myönteisistä vaikutuksista sekä turismiin että mineraaliteollisuuteen liittyen eivät välttämättä ole täysin koherentit johtuen muun muassa veden mahdollisesta vaalenemisilmiöstä ja leväkukinnoista, jotka tulisivat todennäköisesti vaikuttamaan kielteisesti Kuolleenmeren esteettisiin ja virkistysominaisuuksiin ja näin ollen tekisivät siitä vähemmän houkuttelevan kohteen turismille. Toisekseen kipsin muodostuminen veteen saattaa vaikeuttaa myös mineraalien uuttamista teollisuuden käyttöön.

FoEME (2011) tuo esiin tutkimuksille annetun liian lyhyen aikarajan, jotta olisi mahdollista saada riittävän kattavia tutkimustuloksia:

"The shortened review process is leading to further uncertainty rather than informed decision-making – " (FoEME 2011)

Myös Kuolleenmeren asiantuntija, geologi ja biologi Eli Raz (Dead Sea & Arava Science Center) yhtyy ympäristöjärjestön huoleen tutkimuksen liian lyhyestä aikajänteestä:

"The World Bank is financing a 2-year feasibility study for the project, which is a much too short period to conduct sufficient research that bridges knowledge gaps, especially with regard to the environmental implications." (Raz 2009, 189)

Global Nature Fundin (2013) mukaan erityisesti seuraaviin ympäristövaikutuksiin liittyviin kysymyksiin kaivataan edelleen vastausta: 1. Kuinka vedenotto Akabanlahdesta tulee vaikuttamaan herkkiin koralliriuttoihin? 2. Kuinka putkiston rakentamisen tulee vaikuttamaan Aravalaakson luontoon? 3. Kuinka paljon kipsiä tulee muodostumaan merivesien sekoittuessa? 4. Kuinka levä- ja mikrobikukinnot on mahdollista välttää?

FoEME (2013) huomauttaa, että Kuolleeseenmereen kohdistuvien riskien lisäksi kanavahankkeesta tulisi koitumaan erilaisia vaikutuksia koko sille alueelle, jonka kautta putkisto tulisi kulkemaan. Kanavan rakennusvaihe sekä operationaalinen vaihe tulisi todennäköisesti vaikuttamaan herkkään ja ainutlaatuiseseen aavikkoekosysteemiin ja eliöstöön, kuten muuttolintuihin sekä uhanalaisten ja vaarantuneiden lajien elinympäristöihin. Myös kanavan vedenottopaikan ympäristö Akabanlahdella (tästä oma erillinen Maailmanpankin toimittama tutkimus, *Red Sea Modelling Study*) tulisi muuttumaan. Lisäksi he tuovat esiin riskin, että Aravalaakson pohjavesivarat saastuisivat, jos merivettä pääsisi tihkumaan putkistosta tai jos maanjäristyksen seurauksena putkisto vahingoituisi pahoin, jolloin pohjavesivarat saattaisivat altistua saastumiselle. Myös GNF (2013) tuo esiin samankaltaiset huolet mahdollisesta pohjavesien saastumisesta putkiston vuotaessa tai vaurioituessa. Lisäksi he mainitsevat, että putkisto saattaisi olla kohde terrorismille.

"Not only does the project NOT 'save the Dead Sea from environmental degradation' but it threatens other critical natural and heritage resources in its path."
(FoEME 2013)

Lisäksi FoEME (2013) huomauttaa, että suunnitelmissa oleva vesivoima ei riitä kattamaan energiamäärää, joka tarvitaan meriveden pumppaamiseen, joten hanke tarvitsisi lisäenergiaa, joka saattaa lisätä ilmansaasteita ja kasvihuonekaasupäästöjä merkittävästi (kts. Coyne et Bellier ym. 2012, 50; ERM ym. 2012, 18). Myös GNF (2013) tuo esiin, että FS-selvityksen mukaan kanavan nettoenergiatase tulisi olemaan sen käyttöönottovuotena reilusti negatiivinen (-2530 GWh/v) ja jopa tuplaantuvan vuoteen 2050 mennessä. Hankkeiden vaihtoehtotutkimus (SoA) kuitenkin huomauttaa, että miltei kaikki mahdolliset vaihtoehdot kuluttavat enemmän energiaa kuin mitä tuottavat, joten vaihtoehtojen vertailussa tälle seikalle ei annettu merkittävää painoarvoa (SoA 2014, xxxvii).

FoEME (2013) tulkitseekin Maailmanpankin teettämien raporttien tuloksia ilmeisen päinvastoin kuin raportin tilanneet hallitukset. Ympäristöjärjestön mukaan Punaiselta-

mereltä Kuolleelemerelle rakennettava kanava olisi huonoin ja lisäksi kaikkein kallein vaihtoehto täyttämään hankkeelle asetut kolme päätavoitetta, kun otetaan huomioon sekä mahdolliset ympäristövaikutukset että taloudelliset näkökohdat. Myös tutkijat Willner, Lipchin, Kronich, Amiel, Hartshorne ja Selix (2013) huomauttavat, että kyseinen vaihtoehto on kaikista tutkituista vaihtoehdoista pisin (200 km) ja näin myös kallein. Lisäksi kanavan reittiin liittyy suurempi maanjäristysriski kuin esimerkiksi Välimeren-vaihtoehtoihin. Kuitenkin Tahal Groupin vuonna 2000 julkaiseman raportin, *TAHAL's Techno-Economic Report 2000*, mukaan monikansalliseen projektiin – joka olisi samalla Lähi-idän rauhan symboli – voisi olla mahdollista saada helpommin rahoitusta, vaikka projekti olisi kalliimpi. (Willner ym. 2013, 57) On siten mahdollista, että rahoituksen saamiseen liittyvät näkökohdat ovat saattaneet vaikuttaa hankevalintaan ympäristökysymysten kustannuksella.

7.2 Kritiikki Maailmanpankin toimintamallia kohtaan

FoEME on arvostellut RSDSC-hanketta myös siitä, ettei se ole ottanut riittävästi huomioon kielteisen kehityksen taustalla olevaa ensisijaista syytä, joka on Jordanjoen muuttuminen vuolaasta virrasta saastaiseksi viemärikanavaksi:

”By diverting fresh water from Jordan River tributaries and replacing it with sewage, not only has the Dead Sea been devastated but also the culturally and historically important Jordan River has been turned into little more than an open sewage channel.” (FoEME 2007, 9)

Lisäksi FoEME (2007, 2011, 2013) tuo esiin useissa raporteissaan, että Maailmanpankin rahoittamat tutkimukset eivät täytä objektiivisuuden standardia. Se perustelee väitteensä sillä, että Maailmanpankin toimintamalli ei ole ollut riittävän perusteellinen ja läpinäkyvä, eikä projektiin palkattujen konsulttien riippumattomuus ole ollut täysin selvää. FoEME antaa ymmärtää, että osin tästä syystä Jordanjoen ennallistamista tai muita vaihtoehtoja ei aluksi otettu huomioon varteenotettavina vaihtoehtoina.

”—the World Bank, initially contrary to the wishes of our own governments, but under civil society pressure, commissioned a Study of Alternatives that compare the Red-Dead option with other alternatives that either fully, partially, or in combination might advance the declared objectives.” (FoEME 2013)

Arvostelua sai siten erityisesti RSDSC-hankkeelle vaihtoehtoisten hankkeiden selvitys, *Study of Alternatives (SoA)*. Siinä selvitettiin useita erilaista vaihtoehtoja, jotka pystyisi-

vät vastaamaan hankkeelle asetettuihin tavoitteisiin. Tavoitteet olivat Kuolleenmeren pelastaminen ympäristötuholta, kohtuuhintaisen desalinoidun veden tuottaminen ja rauhan symbolin rakentaminen alueen osapuolten välille. Tutkittujen vaihtoehtojen lähtökohdat ja sisällöt eroavat toimiltaan ja tekniikoiltaan, ja ne on jaoteltu kahdeksaan eri ryhmään, joista osassa on vielä alaryhmiä.

Ensimmäinen vaihtoehtoskenaario on "No action" (NA1), jossa kehityskulku jatkuu muuttumattomana. Seuraava vaihtoehtoskenaario on varsinainen RSDSC-hanke (Base Case Plus, BC Plus), johon muita vaihtoehtoja verrataan. Kolmas vaihtoehtoryhmä käsittää alemman Jordanjoen ennallistamisen täysin (FL1) tai osittain (FL2). Neljäs ryhmä tarkastelee vedenkuljetusmahdollisuuksia Välimerestä (TR1), Turkista (TR2) tai Eufraatjoesta (TR3). Viides ryhmä käsittää erilaisia desalinaatiovaihtoehtoja (DS1- DS4), jossa desalinoitua vettä tuotetaan joko Välimeren rannikolla, paikallisesti Jordanjoen laaksoissa tai Akabanlahdella tavoitteena tuottaa lisää käyttövettä alueelle ja näin vähentää Jordanjoen vedenkäyttöä. Tekniset ja vedensäästövaihtoehdot (TC1-TC3) esittävät muutosehdotuksia Kuolleenmeren mineraaliteollisuuden toimiin, alemman Jordanjoen vedenkäyttöön ja vedenkierrätyksen tehostamiseen sekä käytettyihin viljelylajikkeisiin ja -tekniikoihin. Lisävaihtoehdot (AA) tuovat esiin vaihtoehtoja, jotka liittyvät energian myyntiin, veden hinnoitteluun sekä vedenvarastointiin ja kuljetukseen muuten kuin putkistoa pitkin (mm. tankkereilla). Vaihtoehtojen yhdistelmät (Combination of Alternatives, CA1-CA4) käsittelevät neljää eri vaihtoehtoa, jossa edellä mainittuja toimenpiteitä ja tekniikoita on yhdistelty.

Eri vaihtoehtoja vertailtiin ja arvioitiin keskenään viiden kriteerin perusteella. Ne ovat: 1. Kuolleenmeren vedenpinnan laskun pysäyttäminen tai vedenpinnan tason palauttaminen, 2. juomaveden tuottaminen alueelle, 3. yhteistyö alueen osapuolten välillä, 4. rakentamis- ja toiminta-ajan kustannukset sekä 5. mahdolliset ympäristö- ja yhteiskunnalliset vaihtoehdot. Raportin mukaan kaksi vaihtoehtoa, BC1 (*Red Sea – Dead Sea Water Conveyance Base Case Plus*) ja TR1 (*The Mediterranean Sea – Dead Sea Water Conveyance – Southern A*) sekä yksi erilaisten vaihtoehtojen yhdistelmä, CA1 (*Combination No. 1 Desalination at Aqaba and Mediterranean Sea, Water Importation from Turkey and Water Recycling and Conservation*), ottavat laajalti huomioon edellä mainitut kriteerit ja SoA-raportti esittää näitä vartenotettaviksi vaihtoehdoiksi. Ympäristöjärjestöjen ehdottamat Jordanjoen perinteiset ennallistamisvaihtoehdot (FL1-2) eivät siis päässeet jatkoon.

Myös Global National Fund (GNF) arvostelee (2013, 3) sitä, että vaihtoehtotutkimus (SoA) ei läpäissyt neutraliteetin periaatetta vaan Israelin, Jordanian ja palestiinalaisten hallinnot valitsivat asiantuntijat, joita he halusivat käyttää. Järjestön mukaan prosessia tarkastelemaan nimetyllä riippumattomien tutkijoiden paneelilla (*Independent Panel of Experts*, IPE) ei ollut todellista voimaa vaikuttaa tutkimuksen kulkuun tai lopullisiin tuloksiin. GNF:n mukaan prosessin heikosta läpinäkyvyydestä kertoo myös se, että Maailmanpankki ei tuo julki sitä tieteellisen tutkimuksen tasoa, jolle he päätöksensä perustavat. Lisäksi GNF (2013) huomauttaa, että SoA-tutkimukseen sijoitetut resurssit olivat huomattavasti pienemmät kuin RSDSC-hankkeen esiselvitykseen sijoitetut summat, mikä osaltaan asettaa kyseenalaiseksi, pyrkikö Maailmanpankki aidosti löytämään kaikkein parhaan vaihtoehdon Kuolleenmeren pelastamiseksi.

Vaihtoehtotutkimuksen (SoA, 2014) mukaan ”Jordanjoen ennallistaminen on erittäin suotuisa tavoite, jolla on korkea ympäristöllinen, historiallinen ja kulttuurinen arvo, ja joka toteutuessaan tulisi vastaamaan myös Kuolleenmeren tilanteeseen, mutta kyseinen vaihtoehto ei ole tällä hetkellä toteutettavissa ottaen huomioon siihen liittyvät taloudelliset ja sosiaaliset näkökohdat”. SoA-tutkimuksen mukaan tämä vaihtoehto tulee kuitenkin mahdolliseksi pidemmän aikavälin kuluessa, kun makean käyttöveden saatavuus paranee alueella:

”Full restoration of the water flow (of over 1,000 MCM/year) based on recycled water will become feasible in the long run, as the supply of potable water increases to meet the need of the growing population.” (Allan ym. 2014, xxix)

SoA-tutkimus pitää Jordanjoen osittaista ennallistamista kuitenkin mahdollisena ja se voisi käsittää jopa 40% siitä vesimäärästä, joka tarvittaisiin Kuolleenmeren vedenpinnan tason stabiloimiseen. Tällöin Jordanjoen tärkeimmät lähteet tulisivat olemaan kierätetty jätevesi, rajattu vesimäärä Genesaretinjärvestä ja Välimeren rannikolta kuljetettu desalinoitu vesi. Tutkimusryhmän mukaan tämä vaihtoehto ei kuitenkaan ole sopiva strategia niin kauan, kun alueella on akuutti makean veden puute. (Allan ym. 2014, xxiii)

Lisäksi SoA-tutkimus tuo esiin, että Israelin tavoitteena (Israel Water Authority, 2011) on kaksinkertaistaa vuoden 2020 arvioitu desalinaatiokapasiteetti (750 MCM/v) vuoteen 2050 mennessä, ja se tulisi kattamaan kotitalouksien vedentarpeen sekä Israelissa että palestiinalaishallinnon alueella. SoA-raportin mukaan kapasiteettia olisi mahdollista kasvattaa kattamaan myös osa Jordanian vedentarpeesta. (Allan ym. 2014, xxix) Tämän mukaan Jordanjoen virtaaman ennallistaminen tulisi ajankohtaisesti vasta noin

30 vuoden päästä, mikä vaikuttaa liian pitkältä ajalta ottaen huomioon Kuolleenmeren kriittinen tilanne.

7.3 Ympäristöjärjestöjen ratkaisu

Ympäristöjärjestöjen painostuksen seurauksena SoA toi esiin myös yhdistelmävaihtoehdon CA1 (*Desalination at Aqaba and Mediterranean Sea, Water Importation from Turkey, and Recycling and Conservation*), josta ympäristöjärjestöt ovat olleet hyvillään:

"The World Bank's Study of Alternatives has stated for the first time what FoEME has been advocating for over a decade; that the Lower Jordan River can be rehabilitated, the Dead Sea stabilized, and sufficient water made available to our respective publics without the risk of undertaking an experiment that constitutes 'playing God' by mixing two seas, leading to likely irreversible damage to the environment and the political instability of unparalleled public debt. "
(FoEME 2013)

Myös CA1-vaihtoehto ottaa huomioon uudet kehittyvät teknologiat, kuten meriveden desalinaation sekä jäteveden puhdistukseen ja kierrätykseen liittyvät teknologiat. Desalinaatiovesi tulisi korvaamaan luonnonvesien käyttöä ja lisäksi sitä juoksutettaisiin suoraan Jordanjokeen. Vaihtoehdon käyttöönotossa ei ilmeisesti tarvitsisi odottaa alueen vesipulan korjaantumista, vaan tässä vaihtoehdossa toisen korjaantumien tukisi toista. FoEME:n (2013) mukaan edellä mainituissa toimenpiteissä vaikuttaa olevan hyvin pieni negatiivisten ympäristövaikutusten riski. SoA-tutkimuksen (2014, 97) mukaan CA1-vaihtoehdon toimenpiteet seuraavien 30-40 vuoden aikana vähitellen vapauttaisivat noin 800-1000 MCM vettä sen luontaiseen kiertoon. Merkittävimmät CA1-vaihtoehtoon liittyvät huolenaiheet ovat, kuinka paljon vettä Kuolleeseenmereen tulisi lopulta virtaamaan ja pystyykö se määrä pysäyttämään pinnan laskun. Vedenpinnan tason stabiloituminen tarkoittaisi samalla myös kerrostuneisuuden muodostumista Kuolleeseenmereen. Toinen huoli siis on, millaiset vaikutukset Jordanjoen virtaaman lisäämisellä tulisi olemaan Kuolleenmeren limnologiaan. Jos Jordanjoen vedessä on paljon fosforia ja muita ravinteita, se tulisi todennäköisesti aiheuttamaan leväkukintoja aivan kuten RSDSC. CA1-vaihtoehdon puolesta puhuu toisaalta se, että pitkän putkiston rakentamiselta Punaisen- ja Kuolleenmeren välille välttyttäisiin, jolloin myös riski näiden alueiden ekosysteemien häiriintymisestä ja pohjavesien saastumiselta häviäisi. CA1-vaihtoehdossa ei kuitenkaan maininta, miten se huomioi mineraaliteollisuuden vaikutuksen.

EcoPeace Middle East (2015) on laatinut myös oman suunnitelmansa (*Regional NGO Master Plan for Sustainable Development in the Jordan Valley*) Jordanjoen laakson ennallistamiseksi. Siinä on paljon samoja piirteitä kuin Maailmanpankin esittämässä CA1-vaihtoehdossa. Ympäristöjärjestön suunnitelma on myös osa Euroopan Unionin SWIM (*Sustainable Water Integrated Management*) -ohjelmaa ja sen tavoite on ”ennallistaa jokilaakson ekologiset ja ympäristölliset arvot”. Keinot tavoitteen saavuttamiseksi on maksimoida maatalouden jätevedenkierto ja vähentää saastumista sekä tehostaa alueen vedenkäyttöä mahdollisimman paljon. On arvioitu, että esitettyjen toimenpiteiden myötä vuoteen 2050 mennessä Jordanjoen virtaama tulisi olemaan vähintään 400 MCM vuodessa, mutta saavuttaessaan Kuolleenmeren virtaama olisi pienentynyt vain noin neljännekseen siitä. (EcoPeace 2015, 164) Näin ollen kovin suurta muutosta virtaamaan, joka voisi vaikuttaa Kuolleenmeren tilaan, ei ole odotettavissa tällä mallilla, vaikka sillä luultavasti olisi myönteinen alueellinen vaikutus.

Vuonna 2018 EcoPeace Middle East julkaisi raportin *EcoPeace’s Vision for Stabilizing the Water Level of the Dead Sea*, joka nojaa edellä mainittuun suunnitelmaan Jordanjoen laakson ennallistamiseksi. Sen teesit perustuvat jo mainittuihin vedenkäytön tehostamiseen ja kierrätystoimenpiteisiin, joiden myötä Jordanjoen virtaamaa saataisiin kasvatetuksi. Tämän lisäksi raportissa tuodaan esiin, että Israelin vesihallinto (Israel Water Authority) olisi suunnittelemassa kansallisen vedenottokanavansa (National Water Carrier) virtaamissuunnan kääntämistä päinvastaiseen suuntaan. Näin ollen se kuljettaisikin tulevaisuudessa rannikolta suolasta puhdistettua vettä Jordanjokeen ja/tai Genesaretinjärveen, mutta vuosittain kuljetettavasta vesimäärästä ei ollut mainintaa raportissa. EcoPeace (2018) katsoo, että tämä hanke tukee heidän suunnitelmaansa Jordanin jokilaakson ennallistamiseksi samalla mahdollistaen Kuolleenmeren vedenpinnan laskun pysäyttämisen. Ympäristöjärjestön mukaan Kuolleenmeren vedenpinnan lasku on mahdollista pysäyttää heidän raportissaan mainituilla toimenpiteillä, jos Jordanjoen virtaamaa lisätään siten, että siitä vähintään 300-400 MCM päätyy Kuolleenmereen. Tämänkään vaihtoehdon ympäristövaikutukset eivät ole täysin selviä ja lisätutkimusta tarvitaan myös siitä, miten käsitelty jätevesi tulisi vaikuttamaan Kuolleenmeren limnologiaan. (EcoPeace Middle East 2018, 3)

EcoPeace (2015, 168) huomauttaa, että jos mineraaliteollisuus ei lopeta toimintaansa tai korvaa haihdutuslaittansa uudella vettä säästävällä membraaniteknologialla, millään Jordanjoen ennallistamiskeinoilla ei ole vaikutusta Kuolleenmeren vedenpinnan kehitykselle. Huomio, jonka sekä EcoPeace (2015) että SoA-raportti (2014, xxxii) tuo-

vat esiin on, että koska kumpikaan mineraaliteollisuuden yrityksistä ei ole velvoitettu maksamaan Kuolleenmerestä nostamastaan vedestä, minkäänlaisia toimenpiteitä vedenkäytön vähentämiseksi ja tehostamiseksi ei ole toteutettu. Israelin parlamentissa Knessetissä oli keskustelua aiheesta vuonna 2013, kun ympäristönsuojeluministeriölle esitettiin kysymys aiheesta. Ministeriön vastaus oli, että mineraaliteollisuus on vastuussa 45% Kuolleenmeren vedenpinnan laskusta, josta Israelin puoleisen teollisuuden osuus on 30% ja Jordanian puoleisen teollisuuden osuus 15%. Ongelma on siis tiedostettu Israelin päättävissä elimissä, mutta sen ratkaiseminen vaatisi myös toimenpiteitä. EcoPeace ehdottaa lakisäädöstä, joka määritteli Kuolleenmerestä pumpattavalle vedelle ehdot ja hinnan. EcoPeace (2015/2018) suosittelee, että mineraaliteollisuuden vedenkäyttöä tulisi alkaa säädellä sekä tehostaa uudella membraaniteknologialla tai lopettaa teollisuuden toiminta alueella kokonaan. Mineraaliteollisuuden toimien kehittämisestä tai lopettamisesta seuraisi ympäristöjärjestön mukaan noin 330 MCM vuosittainen veden säästö. Heidän mukaansa mineraaliteollisuudessa membraaniteknologian ja muiden vettä säästävien teknologioiden soveltuvuutta tulisi tutkia lisää sekä perustaa rahasto, joka mahdollistaisi sen. Mineraaliteollisuuden yhtiöllä on toimintalupa vuoteen 2030 saakka, ja järjestön mukaan sen jatkoa tulisi harkita ympäristönsuojelullisista näkökulmista. (EcoPeace Middle East, 2018)

EcoPeace (2018) arvioi, että Jordanjoen laakson väkiluku tulee kasvamaan seuraavien vuosikymmenien ajan ja siksi myös makean veden tarve tulee kasvamaan. Näin ollen desalinaatiokapasiteetin kasvattaminen ja tehokas vedenkierrätys ovat ainoat keinot vastata alueen kasvavaan vedentarpeeseen. Järjestön mukaan Israelin tulisi rakentaa lisää desalinaatiolaitoksia maan pohjoisosiin, jotta luonnonvesien käyttö vähenisi.

—researchers estimate that the only solution is water reuse and increasing water desalination for all residents of the basin.”
(Eco Piece Middle East 2018, 2)

Näin ollen vaikuttaa vahvasti siltä, että ilman desalinaatiokapasiteetin merkittävää kasvattamista, mikä korvaisi Kuolleenmeren valuma-alueen jokien vedenkäyttöä, ei ole mahdollista pysäyttää Kuolleenmeren vedenpinnan laskua. Tal (2006, 1084) huomauttaa kirjoituksessaan Science-lehdessä, että Israelin viime aikaisella vesipolitiikalla on ollut myös negatiivisia ympäristövaikutuksia, kuten joidenkin pohjavesivarantojen saastuminen. Hänen mukaansa Israel on kuitenkin oppinut virheistään ja matkalla kestävä kehityksen mukaiseen vesitalouteen. Hän samalla varoittaa, että jos vettä aletaan tuottaa ja kuljettaa naapurimaihin erilaisten projektien myötä, myös näiden maiden veden-

puhdistus- ja kierrätyskapasiteettia on lisättävä samassa suhteessa, jotta samoilta virheiltä välttyttäisiin.

Raporttinsa lopuksi EcoPeace (2018) ehdottaa, että Jordanjoen laaksoon ja Kuolleenmeren ennallistamiseksi tulisi perustaa kansainvälinen rahasto, jonka lisäksi kansainvälisen yhteisön ja paikallisten hallitusten tulisi yhdistää voimansa, jotta ennallistamissuunnitelma toteutuisi. Lisäksi Kuollutmeri tulisi määritellä suojelualueeksi (IUCN's World Commission for Protected Area's "Green List"). (EcoPeace 2018, 4)

8 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksen luotettavuuden tarkastelussa pyritään arviomaan, kuinka validisti eli pätevästi tutkittua kohdetta tutkimustekstissä on kuvattu sekä kuinka hyvin tutkimustulokset ja johtopäätökset vastaavat todellisuutta. Tutkimuksen validiteettia tarkasteltaessa puhutaan siten sisäisestä ja ulkoisesta validiteetista. Sisäisellä validiteetilla tarkoitetaan tutkimuksen teoreettisten ja käsitteellisten määrittelyjen sopusointua, mikä edellyttää tutkijalta syvällistä ja laajaa tutkimuksen aihepiirin tuntemusta. Ulkoinen validiteetti puolestaan merkitsee tehtyjen tulkintojen ja johtopäätösten sekä aineiston välisen suhteen pätevyyttä, jolloin keskeistä on tutkijan kyvykyys tehdä luotettavia johtopäätöksiä tutkimusaineistosta. (Blomberg 2008, 108)

Eskola & Suorannan (1996, 210) mukaan laadullisen tutkimuksen luotettavuuden tarkastelulle ei ole selkeitä ohjeita, koska kvalitatiivista tutkimusta voi tehdä niin monella eri tavalla. Siksi laadullista tutkimusta tulisikin aina arvioida kokonaisuutena, jolloin tutkimuksen sisäinen johdonmukaisuus korostuu. Grönforsin (1982; 173-174, 178) mukaan ”oikeastaan ainoa tapa osoittaa tutkimuksen validius on kertoa tutkielmassa yksityiskohtaisesti kaikki, minkä oletetaan auttavan tutkimuksen arvioimista”. Toisin sanoen läpinäkyvyys mahdollistaa tutkimuksen osoittamisen luotettavaksi. Tapauksessa, jossa tutkimus on tehty muuten hyvin, mutta joka ei ole riittävän läpinäkyvä, ei tutkimusta ole mahdollista osoittaa luotettavaksi. Konkreettinen esimerkki läpinäkyvyyden tärkeydestä nousi esiin myös tämän tutkimuksen aineistosta, kun ympäristöjärjestöt eivät katsoneet Maailmanpankin toimintaa riittävän läpinäkyväksi, jolloin heidän luottamuksensa koko selvitysprosessia ja sen tuloksia kohtaan katosi.

Tutkimuksessani olen pyrkinyt validiteettia tukevaan läpinäkyvyyteen muun muassa kuvaamalla aineistonkeruun, tekemäni valinnat ja niiden perustelut sekä analyysimenetelmät mahdollisimman avoimesti ja yksityiskohtaisesti. Aineistot ja lähteet, joita olen käyttänyt tässä tutkimuksessa, ovat saatavilla internetistä, joten myös muut tutkijat voisivat tehdä tutkimuksen käyttäen samoja aineistoja ja menetelmiä kuin tässä tutkimuksessa. Olen pyrkinyt tuomaan aineistosta esiin ne seikat, jotka ovat relevantteja tutkimukseni kannalta, sekä käyttämään suoria sitaatteja raporteista johtopäätösteni tueksi.

Maailmanpankin raporteista osaa on vuosien varrella päivitetty. Olen pyrkinyt käyttämään aineistossani uusimpia versioita. Asia ei kuitenkaan ollut aivan yksinkertainen,

koska joissain tapauksissa ympäristöjärjestöjen vastine saattoi pohjautua aiempaan versioon Maailmanpankin raportista. Tällöin pyrin tarkastelemaan myös aiempaa versiota. Näin pyrin poistamaan tilanteesta aiheutuneen epäjohtonmukaisuuden riskin.

Tapaustutkimuksen kuvauksen validiteetti koostuu aineiston tarkkuudesta ja kattavuudesta. Tutkimuksessa olen pyrkinyt tähän muun muassa aineistotriangulaation avulla eli käyttämällä moni eri lähteitä (Maailmanpankin raportit, ympäristöjärjestöjen kannanotot ja tutkimukset, tieteellisissä lehdissä julkaistut artikkelit), jotka käsittelevät samaa asiaa, mutta eri näkökulmasta. Aineistotriangulaatiolla voidaan nimenomaan syventää ymmärrystä tapauksen eri puolista, joskaan se ei automaattisesti takaa validiteettia, koska se on riippuvainen myös keruu- ja analyysimenetelmistä (Laine ym. 2007, 23).

Tutkimuskohteen laaja-alaisuudesta johtuen täydellinen ymmärrys raportin sisältämistä tutkimuksista, teknisistä mallinnoista, tuloksista ja niiden analyysistä olisi paikoitellen vaatinut limnologian, kemian, geologian, matematiikan, fysiikan ja mikrobiologian erityisosaamista ja saumatonta yhteensovittamista. Tästä johtuvan epäjohtonmukaisuuksien riskin olen pyrkinyt välttämään tarkistamalla asiat useista eri tieteellisistä lähteistä.

Blombergin (2008, 10) mukaan laadullisen tutkimuksen suurin kompastuskivi liittyy siihen, että luokittelu, aineiston tulkinta ja tutkimuksen arviointi ovat vahvasti sidoksissa yksittäiseen tutkijaan. Laadullista analyysia tehdessään, tutkija joutuu turvautumaan omaan luovuuteensa ja omaan ajatteluunsa, joihin vaikuttavat väistämättä hänen oma taustansa ja ajatusmallinsa (Lindholm 2014, 158-164). Tähän liittyy reliabiliteetin käsite, joka viittaa nimenomaan mittauksen luotettavuuteen ja toistettavuuteen. Reliabiliteetti kuvaa sitä, kuinka hyvin tutkimuksessa käytetty menetelmä tai mittaus antaa ei-sattumanvaraisia tuloksia. Blombergin (2008, 108) mukaan aineiston tulkinta on reliabelia, kun se on johdonmukaista eikä sisällä ristiriitaisuuksia. Laadullisen tutkimuksen piirissä reliabiliteetti-käsitteen käyttö ei kuitenkaan ole niin yksinkertaista, koska laadullisessa tutkimuksessa tutkija itse on mittari. Käsitteen käyttöä laadullisessa tutkimuksessa onkin kritisoitu, koska se kuuluu ennemminkin kvantitatiivisten tutkimusmenetelmien piiriin. Laadulliseen tutkimukseen on kuitenkin pyritty kehittämään reliabiliteetin mittari, ”yksimielisyyskerroin”. Tässä menetelmässä kaksi tutkijaa analysoi ja luokittelee saman aineiston. Mittarin mukaan tutkimuksen luotettavuus on hyvä, jos aineistot on luokiteltu 80-85% samalla tavalla. (Tuomi & Sarajärvi 2009, 133-135; 139)

Tässä tutkimuksessa ulkopuolisen analysoijan käyttäminen ei olisi ollut mahdollista. Pidän kuitenkin hyvin todennäköisenä, että joku toinen tutkija, jolla olisi käytettävissä sa-

ma analyysimenetelmä ja samat lähteet sekä tutkimuskysymykset, löytäisi samat teemat, jotka itse olen havainnut. Toinen tutkija saattaisi tosin painottaa asioita hieman eritavalla, koska subjektiivisuus on aina väistämättä läsnä. Aiemmin mainittu yksimielisyysskerroin näyttäisi antavan subjektiivisuudelle noin 15-20% painoarvon. Tutkijan on kuitenkin aina hyvä tiedostaa omat näkemyksensä ja arvonsa, jotta hän ei jäisi omien ennakkoluulojensa ja asenteidensa valtaan (*"researchers' bias"*).

9 Pohdintaa

"Human intervention has just about killed the Dead Sea. It will take extraordinary human measures – careful, wise intervention and positive regional cooperation – to save it."

- Alon Tal, aavikkoekologian professori, University of Ben Gurion (Slate)

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli selvittää, miten RSDSC-hanke tulisi vastaamaan Kuolleenmeren vedenpinnan laskuun ja mitkä olisivat sen ympäristövaikutukset. Asian teki erityisen kiinnostavaksi se, että ympäristöjärjestöt ovat vastustaneet hanakasti kyseistä hanketta. Tutkimuksen tavoitteena oli käsitellä luonnontieteellistä tietoa ja sitä kautta ymmärtää tilannetta, joka veloo Kuolleenmeren ympärillä. Tilanne ei ole helppo, koska se näyttää olevan hyvin monisyinen ja politisoitunut. Aineistosta nousi esiin, että alueen juomaveden saannin turvaaminen ja toisaalta Kuolleenmeren ympäristön tuhoutumisen estäminen ovat keskustelun ytimessä. Tilanteesta tekee haastavan ja monimutkaisen luonnontieteellisten näkökulmien lisäksi alueen jatkuva poliittinen konflikti.

Tämä tutkimus vahvistaa sen, että ympäristöjärjestöjen esittämä huoli ja kritiikki ovat vakavasti otettavia, koska RSDSC-hankkeesta koituvat ympäristövaikutukset ovat monimutkaisia eikä niiden laajuudesta ja merkittävydestä ole tutkijoiden mukaan varmuutta. Projektiin liittyy merkittäviä riskejä ja pahimmassa tapauksessa hankkeen ympäristövaikutukset saattavat olla hyvin tuhoisat ja pilata koko Kuolleenmeren alueen ekologian sekä esteettiset ominaisuudet. RSDSC-hankkeen myötä vajoamien muodostuminen vähitellen loppuisi, mutta laimentunut pintavesi saattaisi kuitenkin yhä liuottaa suolakerrostumia. Toisaalta myös EcoPeace-ympäristöjärjestön ehdottamassa vaihtoehdossa on omat riskinsä, kuten Jordanjoen virtaaman mukana kulkeutuvien saasteiden ja ravinteiden sekä desalinoidun ja kierrätetyn jäteveden mahdolliset negatiiviset vaikutukset Kuolleenmeren limnologiaan. Lisäksi huolena ympäristöjärjestöjen ajamassa suunnitelmassa on se, kuinka paljon Kuolleeseenmereen lopulta päätyisi vettä ja onko se riittävästi pysäyttämään vedenpinnan lasku. Tämän vaihtoehdon myötä välttäisiin kuitenkin 200 km:n pituisen vedenjuoksutuskanavan sekä siihen liittyvän muun infrastruktuurin rakentamiselta. RSDSC tultaisiin rakentamaan herkän aavikkoekosysteemin alueelle, joka sijaitsee vielä kaiken lisäksi seismisesti aktiivisella mannerlaattojen sivutyöntöalueella.

Toimenpiteitä odotellessa Kuolleenmeren vedenpinta jatkaa laskemistaan. Arvioiden mukaan vedenpinta laskee noin 1,0 - 1,2 metrin vuosivauhdilla, jos mitään muutoksia ei

tapahdu (Tahal Group ym. 2011, 317). Vedenpinnan laskusta aiheutuvista vajoamista ja eroosiosta seuraa merkittävää haittaa ja isoja kustannuksia alueen maataloudelle, turismille, infrastruktuurille ja mineraaliteollisuuden toiminnalle. Vajoamien muodostuminen tulee todennäköisesti jatkumaan siihen saakka, kunnes pohjaveden taso laskee suolakerroksen alapuolelle. Tällöin suolan liukenemista ei enää oletettavasti tapahdu tämänhetkisillä vajoamariskialueilla, mutta uusia vajoama-alueita voi ilmestyä uusien suolakerroksien paljastuessa vedenpinnan laskiessa. (Tahal Group ym. 2011, 313)

Ilman mitään toimia vedenpinnan laskun arvioidaan kuitenkin lopulta hidastuvan ja Kuolleenmeren vedenpinnan tason stabiloituvan vuoteen 2150 mennessä tasoon 515-550 mmpa riippuen siitä, jatkaako mineraaliteollisuus veden ottamista (Gavrieli & Bein 2007, 109; Tahal Group ym. 2011, 280-281, 317). Mallinnusten ja termodynaamisten laskelmien mukaan tällöin järven pinta-alan pienenemisestä ja suolapitoisuuden kasvusta johtuen haihtuminen olisi pienentynyt niin, että se vastaisi Kuolleeseenmereen päätyvää virtaamaa (Krumgalz, Hecht, Starinsky & Katz 1999). Tässä skenaariossa on kuitenkin odotettavissa, että Kuolleenmeren vesiekosysteemi tulisi jopa elottomaksi. Rankkasateiden aikaan päällysveden laimenemisesta voisi edelleen seurata mikrobiologisia kukintoja, kuten *Dunaliella*-leväkukinto, ja sen jälkeen esiintyvä arkkibakteerikukinto, joka värjää veden punaiseksi. Punaiset bakteerikukinnot saattaisivat säilyä vedenpinnassa niin kauan kuin vesi on rankkasateiden jäljiltä tiheyskerrostunutta ja kadota vasta, kun laimentunut päällysvesi on haihtunut riittävästi. (Tahal Group ym. 2011, 318)

RSDSC-hankeen toteutuminen vaikuttaa tällä hetkellä olevan yhtä epävarmaa kuin sen mahdolliset ympäristövaikutukset. Syinä voi nähdä Israelin ja Jordanian välisten suhteiden viime aikaisen viileneminen sekä lähes olemattomat suhteet Israelin ja palestiinalaishallinnon välillä. Myös ympäristöjärjestöjen kannanotot hankkeen riskeistä ovat saattaneet jarruttaa projektin käynnistämistä, jolloin vaihtoehtoiset hankkeet sekä Israelin ja Jordanian kansalliset projektit ovat saaneet lisähuomiota. Lisäksi haasteena saattaa olla RSDSC-hankkeen kallis hinta sekä epävarmat hyödyt eri osapuolille. Vaikka Kuolleenmeren pelastamiseksi on ehdotettu monenlaisia vaihtoehtoja, on RSDSC kuitenkin ainoa hanke, johon nämä kolme tahoa ovat vuonna 2013 luvanneet sitoutua. Useisiin pienempiin yksittäisiin toimiin ryhtyminen saattaa kuitenkin olla nykytilanteessa helpompaa, kuten ympäristöjärjestö EcoPeace (2015/2018) on esittänyt. Tämä tapa edetä kohti ratkaisua on myös todennäköisesti edullisempi ja kestävämpi, ja sen riskit ympäristölle ovat pienemmät.

Hankkeiden vaihtoehtotutkimus SoA (2014) nosti yhdeksi mahdolliseksi vaihtoehdoksi Välimereltä lähtevän putkiston (TR1, *The Mediterranean Sea – Dead Sea Water Conveyance – Southern A*). Viime vuosikymmenten aikana on tutkittu useita erilaisia vaihtoehtoja ja yksi tutkimuksista on Arava Instituutin vuonna 2013 julkaisema *A Pre-Feasibility Study on Water Conveyance Routes to the Dead Sea* (Willner ym. 2013). Tutkimus käsittelee nimenomaan Välimereltä lähteviä vaihtoehtoja. Tässä tapauksessa kyse olisi Israelin kansallisesta hankkeesta, jolla kuitenkin olisi myönteisiä vaikutuksia myös Länsirannalle ja Jordaniaan. Myös Jordania on suunnitellut RSDSC-hankkeen kaltaista, mutta kansallista hanketta ja palestiinalaishallinto on tehnyt yhteistyötä Euroopan Unionin kanssa desalinaatiolaitoksen rakentamiseksi Gazan rannikolle. Jordanian tulee joka tapauksessa ratkaista koko ajan paheneva vesipulansa jollain keinolla. RSDSC-hankkeelle sillä on vaihtoehtoina rakentaa desalinaatiolaitos Akabaan ja/tai rakentaa vedenjuoksutusputkisto Disistä Ammaniin, mutta näiden kustannukset ovat korkeammat verrattuna muihin mainittuihin vaihtoehtoihin. (SoA 2015, 106).

Ympäristöjärjestöjen ehdottama *Master Plan* ja toisaalta SoA-tutkimuksen ehdottama CA1-vaihtoehto tulisivat käyttämään vedensaannin varmistamiseksi alati kehittyviä ”vihreitä” ja kestävän kehityksen mukaisia teknologioita, joiden avulla Israel on jo pystynyt vastaamaan omaan vesipulaansa (SoA, 2014, 96). SoA-raportin mukaan samojen teknologien käyttöönotto palestiinalaishallinnon ja Jordanian alueella tulisi kestäväksi jopa vuosikymmeniä, mikä on jokseenkin merkillistä, kun otetaan huomioon, että teknologia on jo keksitty ja käytössä naapurivaltiossa. Myös kansainvälistä rahoitusta Jordanjoen laakson ennallistamiseen olisi ilmeisen hyvin saatavilla. Herää kysymys, kuinka paljon Kuolleenmeren vedenpinta ehtii laskea, ennen kuin näiden toimenpiteiden vaikutus alkaa näkyä.

Tutkimuksen pohjalta muodostunut näkemykseni on, että Kuollutmeri tulisi nähdä osana Genesaretinjärven ja Jordanjoen muodostamaa vesiekosysteemiä. Lisäksi tulisi hoitaa oireiden syyt eikä vain lieventää oireita. Toisin sanoen Kuolleenmeren valuma-alueen vedenkäyttöä tulisi kehittää kestävämmälle tasolle. Monet tutkimuksista viittaavat siihen, että jo vedenpinnan vakiintumisen seurauksena vajoamien muodostuminen tulisi vähitellen loppumaan. Vasta vedenpinnan vakiintumisen jälkeen – ympäristövaikutukset huomioiden – tulisi pohtia, onko vedenpinta mahdollista nostaa sen aiemmalle tasolle (noin 400 mmpa). Sen sijaan, että lähdetäisiin toteuttamaan hanketta, jonka taloudelliset ja ympäristöön sekä yhteiskuntaan liittyvät vaikutukset eivät ole selviä, tulisi panostaa Jordanjoen virtaaman ennallistamiseen, vedenkierrätyksen ja viljelymene-

telmien tehostaminen. Tällä tavoin olisi mahdollista kehittää aluetta sekä edistää myös hallitusten välistä yhteistyötä.

Eri ennallistamistoimien lokeroiminen vaihtoehtoisiksi eli toisensa poissulkeviksi ei vaikuta rakentavalta tavalta tarkastella asiaa, vaan olisi suotavaa poimia kaikki ne vedensäästöön ja kierrätykseen liittyvät teknologiat ja toimenpiteet, jotka edistävät Jordanjoen laakson ennallistamista ja sen virtaaman kasvua. Tämä ei kuitenkaan yksin riitä ratkaisuksi Kuolleenmeren vedenpinnan laskun pysäyttämiseksi. Kuolleenmeren valuma-alueen luonnollisten vesien makeanveden käyttöä tulisi vähentää ja korvata sitä desalinoidulla vedellä. Makean veden lisäksi suolanpoistoprosessista jäljelle jääneen veden voisi ohjata Kuolleeseenmereen ympäristövaikutuksia samalla tarkasti seuraten. Ennallistamistoimien myötä syntyisikin paljon kiinnostavia tutkimusasetelmia. Jatkotutkimusta voisi tehdä esimerkiksi seurantatutkimuksena siitä, kuinka Jordanjoen virtaama ja koostumus muuttuisivat (virtaaman suuruus, ravinteet, saasteet jne.) erinäisten toimenpiteiden seurauksena ja miten tämä vaikuttaisi Kuolleenmeren limnologiaan. Erityisen mielenkiintoista olisi tutkia veden kerrostuneisuuden muodostumista ja leväkukintojen esiintymistä sekä mineraalien saostumisen vaikutusta siihen.

Jos RSDSC-hanke kuitenkin ottaa edistysaskeleita tulevina vuosina, olisi toivottavaa, että se toteutettaisiin asteittain etenevällä mallilla (WB2), jossa juoksutettavat vesimäärät ovat maltillisemmat, jolloin myös veden lisäyksen aiheuttamiin negatiivisiin ympäristövaikutuksiin olisi mahdollista reagoida helpommin. Parhaimmassa tapauksessa mitattavilta leväkukinnoilta ja/tai veden vaalenemiselta on mahdollista välttyä, vaikka vesi uudelleen kerrostuisikin. Kuitenkin myös tässä tapauksessa hankkeeseen liittyy isot ympäristöriskit.

Desalinaatiokapasiteetin kasvattaminen vaikuttaa välttämättömältä ottaen huomioon alueen kasvavan juomaveden tarpeen. Kääntöpuolena desalinoidun veden käytössä on sen energiantensiteetti. Toisaalta alueella on erinomaiset mahdollisuudet aurinkoenergian kehittämiseen, joskin tälläkin energian tuotantomuodolla on omat haittapuolensa. Esimerkiksi Negevin autiomaahan voisi rakentaa lisää aurinkovoimaa, mutta se luonnollisesti vaikuttaisi sen aavikkoekosysteemiin. Näiden toimien lisäksi mineraaliteollisuuden toimintaan tulisi puuttua siten, ettei teollisuudesta aiheutuisi kielteisiä vaikutuksia Kuolleenmerelle, tai se tulisi kieltää alueella kokonaan.

The New York Times uutisoi joulukuussa 2010 artikkelissaan *Beneath the Dead Sea, Scientist Are Drilling for Natural History* kansainvälisen tutkijaryhmän (International

Continental Scientific Drilling Program) suorittavan Kuolleenmeren pohjasedimenttikairauksia selvittääkseen alueen maanjäristyshistoriaa ja ilmaston vaihtelua. Artikkelin mukaan tutkijaryhmä löysi järven keskeltä otetuista pohjasedimenttinäytteistä puunpalan, joka analysoitiin noin 400 000 vuotta vanhaksi. Kairausoperaation keulahahmo, Tel Avivin yliopiston Minerva Dead Sea -tutkimuskeskuksen johtaja Ben-Avraham kertoi haastattelussa, että he tulkitsivat kairauslöydöksiä osoittavan, että noin puoli miljoonaa vuotta sitten kairauspaikalla sijaitsi rannikko. Tutkijoiden mukaan tämä antaa viitteen siitä, että Kuolleenmeren vedenpinnan taso on vaihdellut dramaattisesti, mutta se on kuitenkin aina noussut luontaisesti. Tämä luo heidän mukaansa toivoa, että suolajärvi on mahdollista ennallistaa tälläkin kertaa. Tämän optimismin valossa Kuollutmeri voi olla selviytymistarina. Se vaatii viisaita toimia, aivan kuten Tal luvun aloittaneessa sitaatissa mainitsee. Ja toimiin tulisi ryhtyä pikaisesti.

Lähteet

- Al-Weshah, R. (2000). The Water Balance of the Dead Sea: An Integrated Approach. *Hydrological Processes*, 14: 145-154.
- Arnon, A., Selker, J. S. & Lensky, N. G. (2016). Thermohaline stratification and double diffusion diapycnal flyxes in the hypersaline Dead Sea. *Limnology and Oceanography*, Vol. 61 (4): 1214-1231.
- Asmar, B.N. & Ergerzinger, P. (2002). Prediction of the Dead Sea dynamic behaviour with the Dead Sea-Red Sea Canal. *Advances in Water Resources*, 25: 783-791.
- Bashitialshaaer, R., Persson, K. & Aljaradin M. (2011). The Sea Future Elevation. *Int. J. of Sustainable Water and Environmental Systems*, 2: 67-76.
- Ben-Avraham, Z. (2001). The Dead Sea – a unique global site. *European Review*, 9: 437-444. doi:10.1017/S1062798701000400
- Blomberg, S. (2008). *Noviisiopettajana peruskoulussa. Aloittelevien opettajien autenttisia kokemuksia ensimmäisestä opettajavuodesta*. Helsingin yliopisto. Tutkimuksia 291. Yliopistopaino Helsinki.
- Clossun, D., Hansen, H., Halgand, F., Milisavljevic, Hallot, F. & Acheroy, M. (2011). The Red Sea – Dead Sea Canal: Its Origin and the Challenges it Faces, p. 107-124. Teoksessa Badescu, V. & Cathcart, R. B. (toim.) *Macro-engineering Sea-water in Unique Environments. Arid Lowlands and Water Bodies Rehabilitation*. Springer-Verlag: Berlin Heidelberg. e-ISBN 978-3-642-14779-1, DOI 10.1007/978-3-642-14779-1
- Donnelly, K. (2014). Water Brief 2. The Red Sea -Dead Sea Projects Update. Teoksessa: Gleick, Peter (toim.). *The World's Water Volume 8. The Biennial Report on Freshwater Resources. Volume 8*. Pacific Institute on Development, Environment and Security. Island Press. Washington. pp. 153-158.
- El-Isa, Z. (2017). The instrumental seismicity of the Jordan Dead Sea transform. *Arabian Journal of Geosciences 2017*, Vol. 10(9): 1-11.
- Eriksson, P. & Koistinen, K. (2005). *Monenlainen tapaustutkimus*. Kuluttajatutkimuskeskus. Julkaisuja 4 - 2005. Kerava: Savion kirjapaino Oy.
- Ezersky, M. (2007). Geoelectric structure of the Ein Gedi sinkhole occurrence site at the Dead Sea shore in Israel. *Journal of Applied Geophysics* 64: 56-69.

- Frumkin, A., Ezersky, M., Al-Zoubi, A., Akkwi, E. & Abueladas, A. (2011). The Dead Sea sinkhole hazard: Geophysical assessment of salt dissolution and collapse. *Geomorphology*. 134: 102–117.
- Garfunkel, Z. & Ben-Avraham, Z. (1996). The structure of the Dead Sea basin. *Tectonophysics*, 266: 155-176.
- Gavrieli, I. & Bein, A. (2007). Formulating A Regional Policy for the Future of the Dead Sea – The ‘Peace Conduit’ Alternative. Teoksessa Shuval, H. & Dweik, H. (Editors). *Water Resources in the Middle East. Israel – Palestian Water Issues – From Conflict to Cooperation. Vol 2. Hexagon series on Human and Environmental Security and Peace*. Springer Berlin Heidelberg New York.
- Ghazleh, S.A, Abed, A.M, Kempe, S. (2011). The Dramatic Drop of the Dead Sea: Background, Rates, Impacts and Solutions, p. 77-105. Teoksessa Badescu, V. & Cathcart, R. B. (toim.) *Macro-engineering Seawater in Unique Environments. Arid Lowlands and Water Bodies Rehabilitation*. Springer-Verlag: Berlin Heidelberg. e-ISBN 978-3-642-14779-1, DOI 10.1007/978-3-642-14779-1.
- Ghazleh, S.A., Hartmann, J., Jansen, N., Kempe, S. (2009). Water input requirements of the rapidly shrinking Dead Sea. *Naturwissenschaften* 96(5): 637-643.
- Gleick, P.H, Hberge, M. & Donnelly, K. (2014). Zombie Water Projects. Teoksessa: Gleick, Peter (toim.). *The World’s Water Volume 8. The Biennial Report on Freshwater Resources*. Volume 8. Pacific Institute on Development, Environment and Security. Island Press. Washington. pp.123-143.
- Gluekstern, P. (2006). Outline of the Red Sea - Dead Sea Hydro Projects. Technion Israel Institute of Technology. The Stephen and Nancy Grand Water Research Institute. Blumenstein Family Water Information Center. Viitattu: 10.2.2020 <http://gwri-ic.technion.ac.il/pdf/IDS/148.pdf>.
- Grönfors, M. (1985). *Kvalitatiiviset kanttättyömenetelmät*. Juva. WSOY. 2. painos.
- Häikiö, L. & Niemenmaa, V. (2007). Valinnan paikat. Teoksessa Laine, M., Bamberg, J. & Jokinen, P. (toim.) *Tapaustutkimuksen taito*. Yliopistopaino Helsinki: Gaudeamus.
- Hamiel, Y., Masson, F., Piatibratova, O. & Mizrahi, Y. (2018). GPS measurements of crustal deformation across the southern Arava Valley section of the Dead Sea Fault and implications to regional seismic hazard assessment. *Tectonophysics*, Vol. 724-725: 171-178.

- Ionescu, D., Siebert, C., Polerecky, L., Munwes, Y.Y., Lott, C., Häusler, S., et al. (2012). Microbial and Chemical Characterization of Underwater Fresh Water Springs in the Dead Sea. *PLoS ONE* 7(6): e38319.
- Israeli Water Authority (2020). Kuolleenmeren vedenpinnan kehitys vuosina 1976-2019. Viitattu: 20.2.2020. <http://www.water.gov.il/Hebrew/Water-Environment/Dead-Sea/Pages/default.aspx>.
- Javor, B. (1989). Dead Sea. *Hypersaline Environments*, Brock/Springer Series in Contemporary Bioscience. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 282-291
- Jeffay, N. (2020, February 10). As Sea of Galilee fills to bursting, Israelis' joy overflows. *Times of Israel*. Viitattu: 14.2.2020 <https://www.timesofisrael.com/as-sea-of-galilee-fills-to-bursting-israelis-joy-overflows/>.
- Katz, A. & Starinsky, A. (2009). Geochemical History of the Dead Sea. *Aquatic Geochemistry* 15, 159-194.
- Kershner, I. (2010). Beneath the Dead Sea, Scientist Are Drilling for Natural History. *The New York Times*. Viitattu: 17.12.2010. <https://www.nytimes.com/2010/12/18/world/middleeast/18deadsea.html>
- Krumgalz, B., Hecht, A., Starinsky, A. & Katz, A. (1999). Thermodynamic constraints on Dead Sea evaporation: Can the Dead Sea dry up? *Chemical Geology*, Vol. 165: 1-11.
- Laine, M., Bamberg, J. & Jokinen, P. (2007). Tapaustutkimuksen käytäntö ja teoria. Teoksessa Laine, M., Bamberg, J. & Jokinen, P. (toim.) *Tapaustutkimuksen taito*. Yliopistopaino Helsinki: Gaudeamus.
- Lappalainen, P. (2007). Poliittinen toiminta tapauksena. Teoksessa Laine, M., Bamberg, J. & Jokinen, P. (toim.) *Tapaustutkimuksen taito*. Yliopistopaino Helsinki: Gaudeamus.
- Lefevre, M., Klinger, Y., Al-Qaryouti, M. Le Béon, M. & Moumani, K. (2018). Slip deficit and temporal clustering along the Dead Sea fault from paleoseismological investigations. *Scientific Reports* (2018), Vol. 8 (451): 1-10.
- Leino, H. (2007). Yleinen ongelma, yksi tapaus. Teoksessa Laine, M., Bamberg, J. & Jokinen, P. (toim.) *Tapaustutkimuksen taito*. Yliopistopaino Helsinki: Gaudeamus.
- Lindholm, A. (2014). Ympäristöliikkeen tutkimus. Teoksessa Massa, I. (toim.) *Polkuja yhteiskuntatieteelliseen ympäristötutkimukseen*. Gaudeamus.

- Massa, I. (2014). Polkuja yhteiskuntatieteelliseen ympäristötutkimukseen. Gaudeamus.
- Miebach, A., Stolzenberger, S., Wacker, L., Hense, A. & Litt, T. (2019). A new Dead Sea pollen record reveals the last glacial paleoenvironment of the southern Levant. *Quaternary Science Reviews*, Vol. 214: 98-116.
- Nazareth, S., Gonsalves, V. & Nayak, S. (2012). A First Recors of Obligate Halophilic Aspergilli from the Dead Sea. *Indian Journal of Microbiology* 2012, Vol. 52 (1): 22-27.
- Oren, A. (2010). The dying Dead Sea: The microbiology of an incrazingly extreme environment. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 2010, Vol. 15: 212-222.
- Oren, A., Gavrieli, I., Gavrieli, J., Kohen, M., Lari, J. & Aharoni, M. (2004). Biological effects of dilution of the Dead Sea brine with seawater: implications for the planning of the Red Sea-Dead Sea "Peace Conduit". *Journal of Marine Systems* 46: 121-131.
- Oren, A., Plotnikov, I., Sokolov, S. & Aladin, N. (2010). The Aral Sea and The Dead Sea: Disparate lakes with similar histories. *Lake & Reservoirs: Research and Management* 15: 223-236.
- Ouillon, R., Lensky, N.G., Lyakhovsky, V., Arnon, A. & Meiburg, E. (2019). Halite Precipitation from Double-Diffusive Salt Fingers in the Dead Sea: Numerical Simulations. *Water Resources Research*, 55: 4252-4265. DOI: 10.1029/2019WR024818
- Peltola, T. (2007). Empirian ja teorian vuoropuhelu, s. 111. Teoksessa Laine, Bamberg & Jokinen (toim.) *Tapaustutkimuksen taito*. Gaudeamus, Helsinki University Press.
- Peuhkuri, T. (2005). Tapaustutkimuksen valinnat. Esimerkkinä Saaristomeren rehevöitymis- ja kalankasvatustusta s. 221-306. Teoksessa Räsänen, Anttila & Melin (toim.). *Tutkimusmenetelmien pyörteissä. Sosiaalitutkimuksen lähtökohdat ja valinnat*. PS-kustannus, Juva.
- Prince-Gibson, E. (2013, September 17). The Dead Sea is dying. *Slate* Viitattu: 19.2.2020
http://www.slate.com/articles/news_and_politics/moment/2013/09/the_dead_sea_is_dying_how_sinkholes_habitat_destruction_and_low_water_levels.html
- Qdais, H. A. (2007). Environmental impacts of mega desalination projects: a case study of the Red-Dead Sea conveyor. *Desalination* 220: 16-23.

- Raz E. (2009) The Future of the Dead Sea: is the Red Sea—Dead Sea Conduit the Right Solution? Teoksessa Lipchin C., Sandler D., Cushman E. (toim.). *The Jordan River and Dead Sea Basin*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht.
- Rhodes, M. E., Oren, A., House, C. H. (2012). Dynamics and Persistence of the Dead Sea Microbial Populations as shown by High-Throughput Sequencing of rRNA. *Applied and Environmental Microbiology*. pp. 2489-2493.
- Saarela-Kinnunen, M. & Eskola, J. (2015). Tapaus ja tutkimus = Tapaustutkimus? Teoksessa Valli, R. & Aaltola, J. (toim.), *Ikkunoita tutkimusmetodeihin 1*. Juva: PS-Kustannus.
- Salameh, E., Alraggad, M. & Amaireh, M. (2019). Degradation processes along the northeastern shores of the Dead Sea. *Environmental Earth Sciences* 78:164, 1-12.
- Salminen, A. (2011). *Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyypeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin*. Vaasan yliopiston julkaisuja. Opetusjulkaisuja 62. Julkisjohtaminen 4.
- Schuiling R. D. & Badescu, V. (2011a). Aral Sea Partial Refill with Imported Caspian Water, p. 317-350. Teoksessa Badescu, V. & Cathcart, R. B. (toim.) *Macro-engineering Seawater in Unique Environments. Arid Lowlands and Water Bodies Rehabilitation*. Springer-Verlag: Berlin Heidelberg. e-ISBN 978-3-642-14779-1, DOI 10.1007/978-3-642-14779-1
- Schuiling R. D. & Badescu, V. (2011b). Aral Sea Rehabilitation with Irtysh Import. p. 351-364. Teoksessa Badescu, V. & Cathcart, R. B. (toim.) *Macro-engineering Seawater in Unique Environments. Arid Lowlands and Water Bodies Rehabilitation*. Springer-Verlag: Berlin Heidelberg. e-ISBN 978-3-642-14779-1, DOI 10.1007/978-3-642-14779-1
- Seitamaa-Hakkarainen, P. & Koskennurmi-Sivonen (2014). Internet ja sosiaalinen media käsityötieteen tutkimuksen lähteenä ja paikkana – aineistojen muodot ja analyysit. (s. 116-131). Teoksessa Karppinen, S, Kouhia, A. & Syrjäläinen, E. (toim.) *Kättä pidempää: Otteita käsityön tutkimuksesta ja käsitteellistämisestä*. Helsinki: Helsingin yliopisto, opettajankoulutuslaitos.
- Silvasti, T. (2014). Sisällönanalyysi. Teoksessa Massa (toim.), *Polkuja yhteiskuntatieteelliseen ympäristötutkimukseen* (s. 33-48). Gaudeamus.
- Sirota, I., Enzel, Y. & Lenskyl, N. (2017). Temperature seasonality control on modern halite layers in the Dead Sea: in situ observations. *The Geological Society of American Bulletin* 2017, Vol. 129 (9-10): 1181(14)

- Sztankeler, V., Meir, I. & Schwartz, M. (2012). Physical Development in an Ecologically Sensitive Area: The Planning of the Dead Sea Region. *Geography Research Forum* 32: 119-145.
- Tal, A. (2006). Seeking Sustainability: Israel's Evolving Water Management Strategy. *Science* 313: 1081-1084.
- Torfstein, A., Goldstein, S. L., Kagan, E. J. & Stein, M. (2013). Integrated multi-site U-Th chronology of the last glacial Lake Lisan. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 104: 210-231.
- Tuomi, J. & Sarajärvi, A. (2009). *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Weber, N., Yechieli, Y., Stein, M., Yokochi, R., Gavrieli, I., Zappala, J., Mueller, P. & Lazar, B. (2018). The circulation of the Dead Sea brine in the regional aquifer. *Earth and Planetary Science Letters*, 493: 242-261.
- Willner, S., Lipchin, C., Kronich S., Amiel, T., Hartshorne N. & Selix, S. (2013). A Pre-Feasibility Study on Water Conveyance Routes to the Dead Sea. Arava Institute for Environmental Studies. Viitattu: 12.2.2020 <http://arava.org/wp-content/uploads/2013/05/Dead-Sea-Conduits-Study-English.pdf>
- Yizhaq, H., Ish-Salomon, C., Raz, E. & Ashkenazy, Y. (2017). Scale-free distribution of Dead Sea sinkholes: Observations and modelling. *Geophysical Research Letters*, 44(10): 4944-4952.